LIBRO DE BOLSILLO

PARA

EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

INDIAN ROADS CONGRESS
2018

LIBRO DE BOLSILLO
PARA
EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

Publicado por:
INDIAN ROADS CONGRESS
2018

Price: 1200/-
(Plus Packing & Postage)

Libro de Bolsillo para Equipo de Construcción de Carreteras

Primera Publicación: Noviembre, 2018

(Todos los Derechos son Reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, traducida o transmitida en ninguna forma o por ningún medio sin el permiso del Congreso de Carreteras de la India)

Impreso por India Offset Press, Delhi-110 064
500 Copias

PRÓLOGO

Me complace enormemente presentar la primera edición del Libro de Bolsillo para Equipo de Construcción de Carreteras.

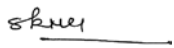
El sector de carreteras en India está preparado para un rápido crecimiento y la mecanización juega un papel importante en lograr economía, rapidez y calidad en la construcción y mantenimiento de carreteras. Actualmente, no existe un único documento que cubra todos los equipos principales involucrados en la construcción de carreteras. Por lo tanto, se ha tomado la iniciativa de presentar una compilación de equipos de construcción para carreteras, puentes y trabajos en túneles.

El Libro de Bolsillo para Equipo de Construcción de Carreteras está destinado a actuar como una plataforma única para familiarizar a los Ingenieros de Carreteras en ejercicio y a las partes interesadas con el aspecto de mecanización involucrado en cada actividad de construcción de carreteras. Se han incluido referencias a las Especificaciones del Ministerio para Obras de Carreteras y Puentes para cada actividad de construcción. Se ha discutido el equipo crítico para trabajos de carreteras y puentes, así como para trabajos en túneles. También se ha incluido un resumen de varias pruebas de control de calidad junto con el aparato requerido y códigos de referencia IS para fácil referencia.

Este libro ha sido compilado basándose en un extenso estudio de las Publicaciones del IRC y Códigos IS y revisión de literatura y prácticas actuales. El Libro de Bolsillo para Equipo de Construcción de Carreteras es el resultado del incansable esfuerzo de los oficiales de la Dirección de Carreteras y otros profesionales que contribuyeron a la redacción de este documento.

Deseo expresar mi agradecimiento por los esfuerzos realizados por Shri K.C. Sharma, Shri Ananyabrata Maulik, Shri N.K. Nayak y el Dr. Sanjay Wakchaure en la preparación de este documento y al Comité GSS por revisar el documento.

Espero que este Libro de Bolsillo, en su forma actual, resulte ser muy útil para referencia diaria para todos los ingenieros en la profesión de carreteras. Sin embargo, la compilación de este tipo de Libro de Bolsillo necesitará ser actualizada periódicamente con cambios en tecnología y entorno. El Congreso de Carreteras de la India, por lo tanto, agradecería sugerencias y comentarios de los usuarios para que cualquier amplificación/modificación/actualización pueda ser intentada a su debido tiempo.



New Delhi
9th Noviembre, 2018

(S.K. Nirmal)
Secretaría General, IRC

CONTENTS

Sl. No.		Descripción	Pag No.
Personal del Comité de Especificaciones y Normas Generales			(i)
1.		Introducción	1
2.		Alcance	1
		PART A: EQUIPO PARA OBRAS VIALES	
3.		Equipos por Actividad para Obras Viales	5
4.		Descripción del Equipo Esencial para Obras Viales	30
	4.1	Bulldozer	30
	4.2	Excavadora Hidráulica	33
	4.3	Motoniveladora	37
	4.4	Raspador	39
	4.5	Cargadora Frontal	41
	4.6	Retroexcavadora	45
	4.7	Trituradora	45
	4.8	Camión Volquete	57
	4.9	Carretilla	60
	4.10	Planta de Mezcla en Húmedo	61
	4.11	Equipos de Estabilización del Suelo	63
	4.12	Tractor-Rotavator y Arado de Discos	66
	4.13	Barredora de Carreteras	68
	4.14	Distribuidor de Betún	70
	4.15	Planta de Mezcla en Caliente	77
	4.16	Acabadora de Pavimento	81
	4.17	Rodillo	84
	4.18	Esparcidor de Agregado	88
	4.19	Planta de Dosificación y Mezcla de Concreto	91
	4.20	Mezcladora de Tránsito	95
	4.21	Colocador/ Esparcidor de Concreto	97
	4.22	Pavimentadora de Concreto0	98
	4.23	Vibrador de Concreto	104
	4.24	Flotador/ Alisador	112

Sl. No.		Descripción	Pag No.
	4.25	Escarificador	114
	4.26	Equipos para Texturización	115
	4.27	Pulverizador de Compuestos	117
	4.28	Cortador/ Sierra de Diamante	118
	4.29	Máquina Selladora de Juntas	119
	4.30	Máquina de Colado de Bordillos	121
	4.31	Máquina Marcadora de Carreteras	122
	4.32	Equipo de Reciclaje en Caliente In Situ (RCCIS)	124
	4.33	Equipo de Reciclaje en Frío en el Lugar (ERFPL)	125
	4.34	Máquina Fresadora en Frío	129
	4.35	Máquina Fresadora en Frío.	133
	4.36	Martillo Hidráulico	135
	4.37	Equipo Móvil para Aplicación de Sello Slurry	137
	4.38	Cocedor de Mástico	139
	4.39	Quitanieves	140
	4.40	Planta de Mezcla Fría de Betún	142
		PART B: EQUIPO PARA OBRAS DE PUENTES	
5.		Equipo por Actividad para Obras de Puentes	145
6.		Descripción del Equipo Esencial para Obras de Puentes	157
	6.1	Equipo para Colocación de Concreto	157
	6.2	Bomba de Concreto	159
	6.3	Equipo de Hundimiento Neumático	164
	6.4	Piloteadora	166
	6.5	Equipo para Perforación de Pilotes	176
	6.6	Equipo de Pretensado	184
	6.7	Equipo de Inyección de Lechada	187
	6.8	Equipo para Proyección de Concreto	191
	6.9	Taladro	196
7.		Plataforma Elevadora Móvil de Trabajo (PEMT)	202
8.		Unidad Móvil de Inspección de Puentes (UMIP)	205

Sl. No.	Descripción	Pag No.
	PART C: EQUIPO PARA OBRAS DE TÚNELES	
9.	Equipo Esencial para Obras de Túneles	213
10.	Obras de Túneles	215
	10.1 Método de Corte y Cubrimiento	216
	10.2 Método de Tunelización con Escudo	216
	10.3 Método de Tunelización con Taladro	217
	10.4 Método de Tunelización con Taladro	218
	10.5 Método de Tubo Inmerso	218
	10.6 Método de Perforación y Voladura	219
	10.7 Excavación Convencional con Rozadora	220
	10.8 Técnicas de Fracturación de Rocas	222
	10.9 Método de Excavación Secuencial (MES)	223
11.	Máquina Perforadora de Túneles (MPT)	223
12.	Sistema de Ventilación para Túneles (SVT)	232
13.	Otros Sistemas de Túneles	239
	PART D: EQUIPO PARA CONTROL DE CALIDAD	
14.	Pruebas para Suelos	243
15.	Pruebas para Agregados	252
16.	Pruebas para Betún	256
17.	Pruebas para Cemento y Concreto	259
18.	Equipo Esencial para Laboratorio Central	261
	18.1 Equipo de Pruebas de Suelo	261
	18.2 Equipo de Pruebas de Agregados	262
	18.3 Equipo de Pruebas de Cemento y Concreto	263
	18.4 Equipo de Pruebas de Betún	264
	18.5 Equipo de Pruebas de Subsuelo	265
19.	Equipo Esencial para Laboratorio de Planta o Sitio	265
	19.1 Planta de Mezcla Húmeda	265
	19.2 Planta de Mezcla en Caliente	266
	19.3 Planta Dosificadora de Concreto	267

Sl. No.		Descripción	Pag No.
20.	Inventario de Consumibles para Laboratorio		268
	20.1	Pruebas de Suelo	268
	20.2	Pruebas de Agregados	268
	20.3	Pruebas de Cemento	268
	20.4	Pruebas de Betún	268
	20.5	Pruebas de Concreto	268
	20.6	Pruebas de Subsuelo	268
	PART E: EQUIPO PARA GESTIÓN DE DESASTRES		
21.	Equipo Esencial para Trabajos de Restauración en la Gestión de Deslizamientos		271
	21.1	Equipo Pesado	271
	21.2	Herramientas Eléctricas	271
	21.3	Equipo de Iluminación	272
	21.4	Herramientas Manuales	272
	21.5	Artículos de Utilidad Variados	272
	21.6	Kit Individual	272
	21.7	Equipamiento de Protección Personal	273
	21.8	Equipos de Radio y Comunicación	273
	21.9	Puentes Temporales Ligeros	273
	21.10	Recursos Humanos Calificados	273
22.	Puente Bailey		274
Apéndice-I:		Límites de Emisión y Ruido para Grupos Electrógenos Diésel (hasta 800 KW).	288
Apéndice-II:		Normas de Emisión para Vehículos Equipados de Construcción.	289
Apéndice-III:		Códigos IRC/BIS para Equipos de Construcción de Carreteras y Puentes	290
Apéndice-IV:		Calibración de Equipos	292
Referencias			293

LISTA DE TABLAS

Tabla No.	Descripción	Pag No.
Tabla 1	Equipo por Actividad para Obras de Carreteras	5
Tabla 2	Aplicaciones de Bulldozer en el Sector de Carreteras	31
Tabla 3	Recomendaciones para la Selección de Bulldozer según el Tamaño del Proyecto de Carreteras	33
Tabla 4	Peso Operativo del Bulldozer y Tipo de Cuchilla para Proyectos de Carreteras de Diferentes Tamaños	33
Tabla 5	Especificaciones para Motoniveladora	39
Tabla 6	Clasificación de Camiones Volquete	59
Tabla 7	Ventajas y Desventajas de Camiones Volquete de Descarga Trasera	59
Tabla 8	Ventajas y Desventajas de Camiones Volquete de Descarga Inferior	59
Tabla 9	Ventajas y Desventajas de Camiones Volquete de Descarga Lateral	60
Tabla 10	Ventajas y Desventajas de Camiones Volquete Rígidos	60
Tabla 11	Ventajas y Desventajas de Camiones Volquete Articulados	60
Tabla 12	Requisito de Paddle Tips para varias Capacidades de Salida de Plantas de Mezcla Húmeda	63
Tabla 13	Frecuencia Recomendada de Calibración y Tolerancia Permitida para una Planta de Mezcla Húmeda	63
Tabla 14	Selección de Rotavator/Disc Harrow para la Estabilización In Situ del Suelo	67
Tabla 15	Tipos de Acabadoras de Pavimento	82
Tabla 16	Especificaciones para Acabadoras de Pavimento utilizadas en Proyectos de Carreteras Medianos/Grandes	84
Tabla 17	Rodillos y sus Mecanismos de Compactación	85
Tabla 18	Selección de Rodillo basada en el Tipo de Actividad	86
Tabla 19	Directrices de Aplicación para Rodillos Vibratorios	87

Tabla No.	Descripción	Pag No.
Tabla 20	Clasificación de Plantas Dosificadoras y Mezcladoras de Concreto	91
Tabla 21	Tiempo de Mezcla y Capacidades de Diferentes Mezcladoras de Concreto	94
Tabla 22	Especificaciones para Planta Dosificadora de Concreto	94
Tabla 23	Especificaciones para Mezcladora de Tránsito	97
Tabla 24	Especificaciones para Pavimentadora Deslizante	102
Tabla 25	Parámetros de Rendimiento para Vibrador Interno	106
Tabla 26	Clasificación de Vibrador Externo	107
Tabla 27	Tamaños y Capacidades de Mesa Vibradora	112
Tabla 28	Potencia Nominal de la Mesa Vibradora	112
Tabla 29	Especificaciones para Quitanieves	141
Tabla 30	Equipo por Actividad para Obras de Puentes	145
Tabla 31	Clasificación de Bomba de Concreto	160
Tabla 32	Equipo por Actividad para Obras de Túneles	213
Tabla 33	Tipos de Sistemas de Ventilación de Túneles	233
Tabla 34	Equipo de Ventilación de Túneles	237
Tabla 35	Otros Sistemas de Túneles	239
Tabla 36	Pruebas para Suelos	243
Tabla 37	Pruebas para Agregados	252
Tabla 38	Pruebas para Betún	256
Tabla 39	Pruebas para Cemento y Concreto	259
Tabla 40	Construcción Recomendada de Puente Bailey de Ancho Estándar (Plataforma de Madera) con 2 Traviesas por Tramo	276
Tabla 41	Construcción Recomendada de Puente Bailey Extra Ancho (Plataforma de Madera) con 2 Traviesas por Tramo	277
Tabla 42	Construcción Recomendada de Puente Bailey de Ancho Estándar (Plataforma de Madera) con 4 Traviesas por Tramo	278

Tabla No.	Descripción	Pag No.
Tabla 43	Construcción Recomendada de Puente Bailey Extra-Ancho (Plataforma de Madera) con 4 Traviesas por Tramo	279
Tabla 44	Construcción Recomendada de Puente Bailey de Ancho Estándar (Plataforma de Acero) con 2 Traviesas por Tramo	280
Tabla 45	Construcción Recomendada de Puente Bailey Extra-Ancho (Plataforma de Acero) con 2 Traviesas por Tramo	281
Tabla 46	Construcción Recomendada de Puente Bailey de Ancho Estándar (Plataforma de Acero) con 4 Traviesas por Tramo	282
Tabla 47	Construcción Recomendada de Puente Bailey Extra-Ancho (Plataforma de Acero) con 4 Traviesas por Tramo	283
Tabla 48	Límites de Emisión para Generadores Diésel de hasta 800 KW 288	288
Tabla 49	Normas de Emisión para Equipos de Construcción Vehículos según lo notificado por MoRTH	289
Tabla 50	Códigos IRC/BIS para Equipos de Construcción de Carreteras y Puentes	290

LISTA DE FIGURAS

Figura No.	Descripción	Pag No.
Figura 1	Bulldozer (Tipo Oruga)	30
Figura 2	Excavadora Hidráulica (Tipo Oruga)	33
Figura 3	Motoniveladora	37
Figura 4	Tractor de Tiro de Rasante	40
Figura 5	Operación del Tractor de Tiro de Rasante	41
Figura 6	Cargadora Frontal	42
Figura 7	Retroexcavadora	45
Figura 8	Planta de Trituración de Tres Etapas (Capacidad de 200/300 TPH)	47
Figura 9	Planta de Trituración de Cuatro Etapas (Capacidad de 450 TPH)	48
Figura 10	Trituradora de Mandíbula (Tipo de Palanca Simple)	49
Figura 11	Trituradora de Mandíbula (Tipo de Palanca Doble)	50
Figura 12	Trituradora de Cono	51
Figura 13	Impactador de Eje Vertical	52
Figura 14	Estación de Trituración Montada sobre Orugas	53
Figura 15	Clasificador Seco	54
Figura 16	Lavadora de Arena con Hidrociclón	55
Figura 17	Lavadora de Arena con Rueda de Cangilones	56
Figura 18	Tipos de Volquetes según el Método de Descarga de la Carga	57
Figura 19	Volquete Rígido	58
Figura 20	Volquete Articulado	58
Figura 21	Carretilla	60
Figura 22	Diseño Típico de una Planta de Mezcla Húmeda de 200 TPH con Silo de Relleno	61
Figura 23	Tren de Estabilización In Situ del Suelo	64
Figura 24	Estabilizador de Suelo Móvil (In Situ)	65
Figura 25	Rotavator	66
Figura 26	Grada de Discos	67
Figura 27	Barrido de Carreteras	68

Figura No.	Descripción	Pag No.
Figura 28	Distribuidor de Betún (Tipo Remolcado)	71
Figura 29	Distribuidor de Betún (Tipo Autopropulsado)	71
Figura 30	Ajuste Correcto del Ángulo de la Boquilla	74
Figura 31	Superposición de boquillas de aspersión para brindar una triple cobertura de betún	75
Figura 32	Planta de Mezcla en Caliente Tipo Tambor	78
Figura 33	Planta de Mezcla en Caliente Tipo Lote	79
Figura 34	Finalizador de Pavimentadora	82
Figura 35	Tipos de Compactadores	85
Figura 36	Esparcidor de Agregado con Puerta Trasera	88
Figura 37	Esparcidor de Agregado Autopropulsado	90
Figura 38	Planta de Dosificación y Mezcla de Concreto (Estacionaria)	92
Figura 39	Flujo Operativo de la Planta de Dosificación y Mezcla de Concreto	93
Figura 40	Camión transportador de mezcla	95
Figura 41	Pavimentadora de Hormigón por Deslizamiento	98
Figura 42	Vista en Sección de la Pavimentadora de Hormigón por Deslizamiento	99
Figura 43	Máquina Texturizador y Curadora (TCM)	101
Figura 44	Pavimentadora de Hormigón de Forma Fija	102
Figura 45	Tipos de Agujas Vibratorias para Vibrador Interno	105
Figura 46	Vibrador Interno	105
Figura 47	Vibrador Externo Eléctrico (Tipo Fijo)	107
Figura 48	Vibrador Externo Neumático	108
Figura 49	Vibrador Externo Hidráulico	109
Figura 50	Vibrador de Regla	110
Figura 51	Pulidora de Un Rotor	113
Figura 52	Pulidora de Dos Rotores	114
Figura 53	Scabler (Tipo Empujado)	115
Figura 54	Dispositivo Mecánico de Texturizado	116
Figura 55	Espaciado Aleatorio (en mm) para Texturizado Transversal	116
Figura 56	Espolvoreados de Compuesto de Curado	117
Figura 57	Sierra de Diamante	118

Figura No.	Descripción	Pag No.
Figura 58	Máquina Selladora de Juntas	119
Figura 59	Fundidora de Sellador de Juntas	121
Figura 60	Vertedora de Sellador de Juntas	121
Figura 61	Máquina de Moldeo de Bordillos por Deslizamiento	122
Figura 62	Máquina Marcadora de Carreteras	123
Figura 63	Equipo de Reciclaje en Caliente para Remodelación	124
Figura 64	Equipo de Reciclaje en Frío de Unidad Única (con Cemento Pre extendido)	126
Figura 65	Equipo de Reciclaje en Frío de Unidad Única (con Adición de Lechada de Cemento en el Tambor de Mezcla)	127
Figura 66	Tren de Reciclaje en Frío de Multi unidad (con Cemento Pre extendido)	127
Figura 67	Fresado Descendente versus Fresado Ascendente	128
Figura 68	Producción de Betún Espumado	128
Figura 69	Arreglo de Péndulo de Elevación de Cuatro Vías para Ajuste de Altura y Control de Pendiente	129
Figura 70	Resurfacing con y sin Fresado	130
Figura 71	Aplicaciones de Fresado en Frío	131
Figura 72	Máquina de Fresado en Frío de Carga Frontal	132
Figura 73	Máquina de Fresado en Frío de Carga Trasera	132
Figura 74	Tambor de Fresado	132
Figura 75	Sistema de Nivelación en Máquina de Fresado en Frío	133
Figura 76	Martillo Hidráulico	135
Figura 77	Tipos de Equipos de Sellado de Lechada/ Micro aglomerado Móvil	137
Figura 78	Equipo Móvil de Sellado de Lechada/ Micro aglomerado	138
Figura 79	Cocineta de masilla	140
Figura 80	Quitanieves	141
Figura 81	Bombas de Concreto de Pistón y Rotativas	161
Figura 82	Bomba de Concreto Montada en Camión con Pluma de Distribución Integral	163
Figura 83	Equipo Neumático de Hundimiento	164
Figura 84	Taladro de Pilotes	167

Figura No.	Descripción	Pag No.
Figura 85	Martillo de Caída	168
Figura 86	Martillo de Acción Simple	169
Figura 87	Martillo de Doble Acción	170
Figura 88	Martillo de Acción Diferencial	171
Figura 89	Martillo Diésel	172
Figura 90	Ciclo de Operación del Martillo Diésel de Acción Simple	173
Figura 91	Martillo Vibratorio	174
Figura 92	Taladro Rotativo o de Percusión Rotativa usando Suspensión de Bentonita	177
Figura 93	Winche y Grúa	179
Figura 94	Bomba de Lodos	180
Figura 95	Cucharón	181
Figura 96	Cincel	182
Figura 97	Construcción de Pilotes Aburridos utilizando Lodo de Perforación para Estabilización del Bore	183
Figura 98	Construcción de Pilotes Aburridos utilizando Revestimiento Temporal para Estabilización del Bore	183
Figura 99	Equipo de Pretensado	184
Figura 100	Gato de Tensado de Centro de Multi hebras	185
Figura 101	Gato de Barra de Pretensado	186
Figura 102	Equipo de Lechada	188
Figura 103	Mezcladora de Lechada	189
Figura 104	Equipo de Proyección de Concreto Proyectado	192
Figura 105	Pistola de Cemento para Gunitado	194
Figura 106	Martillo Perforador	197
Figura 107	Mecanismo de Perforación Rotativa	198
Figura 108	Taladro de Percusión Rotativa	198
Figura 109	Taladro de Diamante	200
Figura 110	Cañón de Núcleo para Taladro de Diamante	200
Figura 111	Taladro de Proyección	201
Figura 112	Elevador de Hombre	202
Figura 113	Elevador de Tijera	203

Figura No.	Descripción	Pag No.
Figura 114	Elevador de Brazo Montado en Camión (MEWP)	204
Figura 115	Área de Trabajo Típica del Elevador de Brazo Montado en Camión (MEWP) con Elevación de 18 m y Radio de 8.7 m	205
Figura 116	Unidad Móvil de Inspección de Tuberías (MBIU) Tipo Jaula	206
Figura 117	Unidad Móvil de Inspección de Tuberías (MBIU) Tipo Plataforma	207
Figura 118	Componentes de la Unidad Móvil de Inspección de Tuberías (MBIU) Tipo Plataforma	208
Figura 119	Jumbo Perforador	220
Figura 120	Cabezal de Corte	221
Figura 121	Máquina Perforadora de Túneles	225
Figura 122	TBM con Agarrador	226
Figura 123	TBM de Un Solo Escudo	227
Figura 124	TBM de Doble Escudo	228
Figura 125	TBM de Equilibrio de Presión de Tierra (EPB)	229
Figura 126	TBM de Cara de Lechada	230
Figura 127	Ventilación Natural	235
Figura 128	Ventilación Longitudinal A) Boquilla de Saccardo B) Ventiladores de Chorro C) Sección Transversal	236
Figura 129	Ventilación Semi Transversal	236
Figura 130	Ventilación Totalmente Transversal	237
Figura 131	Tipos de Ventiladores de Ventilación	238
Figura 132	Configuración de Puentes Bailey de Travesaños y Niveles	275
Figura 133	Puente Bailey Extra-Ancho de Doble Refuerzo con Plataforma de Acero	284
Figura 134	Puente Bailey de Ancho Estándar con Plataforma de Madera	284
Figura 135	Puente Bailey Extra-Ancho con Plataforma de Madera	285
Figura 136	Montaje e Instalación de Puente Bailey	286
Figura 137	Puente Bailey Soportado en Pilares de Cuna	287

PERSONAL DEL COMITÉ DE ESPECIFICACIONES Y NORMAS GENERALES (GSS)

(Hasta el 25 de abril de 2018)

1.	Kumar, Manoj (Convenor)	Director General (RD) y secretario Especial del Gobierno de la India, Ministerio de Transporte por Carretera y Autopistas, Nueva Delhi
2.	Nagpal, A.K. (Co-Convenor)	Director General Adicional, Ministerio de Transporte por Carretera y Autopistas, Nueva Delhi
3.	Balakrishna, Y. (Member Secretary)	Ingeniero jefe (P&B) SR&T, Ministerio de Transporte por Carretera y Autopistas, Nueva Delhi
4.	Agrawal, C.P.	Secretario, Departamento de Obras Públicas
5.	Amitabh, Manu	Ingeniero jefe, Departamento Central/Obras Públicas, Nueva Delhi
6.	Basu, Kaushik	Ingeniero jefe, Ministerio de Transporte por Carretera y Autopistas
7.	Bhandari, Dr. R.K.	Presidente, INAE y Especialista Geopeligros Nueva Delhi
8.	Chandra, Dr. Satish	director, Instituto Central de Investigación de Carreteras, Nueva Delhi
9.	Garg, Anil Kumar	Ingeniero jefe (NH), Dep. Obras Rajasthan
10.	Jha, Kumar Neeraj	Profesor Asociado, Instituto Indio de Tecnología Delhi
11.	Kumar, Ashok	Consultor, M/s Feedback Infrastructura Nueva Delhi
12.	Kumar, Dinesh	Ingeniero en jefe (Jubilado), Departamento De Obras Públicas, Delhi
13.	Kumar, Uttam	director de Proyectos, Agencia Nacional de Desarrollo de Carreteras Rurales, Nuv. Delhi
14.	Lal, Mohan	Superintendente de la Zona Norte, Dep. de Obras Públicas de Delhi, Nueva Delhi
15.	Mathur, Harish	director técnico, IL&FS, Nueva Delhi
16.	Mehta, U.C.	Subdirector General Adicional (Este), Organización de Carreteras Fronterizas
17.	Nahar, S.S.	Director, Academia India de Ingenieros de Carreteras, Noida
18.	Patankar, V.L.	Director General Adicional (Jub), Ministerio/ Transporte por Carretera Autopistas Nu Delhi
19.	Pawar, Ajit	secretario (Jubilado), Maharashtra DOP

20.	Pipri, K.K.	Ingeniero jefe, Autopistas Nacionales, Raipur
21.	Prakash, Indu	DG (RD) y SE (Jub) Ministerio Transporte por Carretera y Autopistas, Nueva Delhi.
22.	Puri, S.K.	DG (RD) y SE (Jubilado), Ministerio de Transporte por Carretera y Autopistas, Nueva Delhi.
23.	Rajawat, V.K.	Director Técnico, NHIDCL, Nueva Delhi.
24.	Rajoria, K.B.	Ingeniero en jefe (Jub), DOP Delhi, Nu. Delhi
25.	Rao, P. Ravinder	Ingeniero en jefe (Carreteras y Puentes)
26.	Sharma, R.S.	Director Ejecutivo, M/s STP de Nueva Delhi.
27.	Singh, A.K.	Miembro Proyectos, Autoridad de Carreteras Nacionales de la India, Nueva Delhi
28.	Singh, B.N.	Director General Adicional, Ministerio de Transporte Carretera, Autopistas, Nueva Delhi
29.	Singh, Nirmaljit	DG (RD) y SE (Jub), (MoRTH), Nueva Delhi.
30.	Singh, V.K.	Ingeniero en jefe, DOP, Uttar Pradesh.
31.	Sinha, A.V.	DG (RD) y SE (Jub), Ministerio de Transporte Carretera y Autopistas, Nueva Delhi.
32.	Subbhiya, Ravindra	CDE, Larsen y Toubro, Chennai
33.	Verma, Maj. V.C.	Presidente, Federación Nacional de Constructores de Autopistas, Nueva Delhi.
34.	Wakchaure, Dr. Sanjay	Ingeniero Inspector, Ministerio de Transporte/ Carretera y Autopistas, Nueva Delhi.

Miembros Correspondientes

1.	Indoria, R.P.	DG (RD) y SE(Jubilado), Ministerio de Transporte por Carretera y Autopistas
2.	Swarup, Dr. P.R.	Director General, Consejo de Desarrollo de la Industria de la Construcción, Nueva Delhi

Miembros Ex Oficio

1.	Presidente, IRC	(Reddy, K.S. Krishna), director Gerente, M/s KRDC Ltd.
2.	Director General (RD) & Spl. Secretary to the Govt. of India	(Kumar, Manoj), Ministerio de Transporte por Carretera y Autopistas, Nueva Delhi.
3.	Secretario General	(Nirmal, S.K.), Congreso de Carreteras de India, Nueva Delhi.

LIBRO DE BOLSILLO PARA EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

1. INTRODUCCIÓN

El sector de carreteras en India ha experimentado un crecimiento rápido y este impulso continuará. La mecanización ha desempeñado un papel importante en lograr economía, velocidad y calidad en la construcción y mantenimiento de carreteras. Para respaldar a la industria de la construcción y a los departamentos de carreteras, la División de Carreteras del Ministerio de Transporte por Carretera y Autopistas (MoRTH) ha tomado la iniciativa de elaborar una compilación completa de equipos de construcción para trabajos de carreteras, puentes y túneles.

El primer borrador del documento fue preparado por Shri Ananyabrata Maulik. Se incorporaron aportes de Shri K.C. Sharma, Shri N.K. Nayak, Dr. Sanjay Wakchaure y representantes de la Industria de Construcción y Equipos, así como profesionales de organizaciones gubernamentales, incluida la Organización de Carreteras Fronterizas (BRO). El documento fue aprobado por el Comité de Especificaciones y Normas Generales (GSS) en su reunión del 25.04.2018. El Comité Ejecutivo del IRC aprobó el documento en su reunión del 03.05.2018 con algunos comentarios. El documento, después de incorporar los cambios necesarios, fue aprobado por el Consejo del IRC en su reunión 215 celebrada en Aizawl (Mizoram) el 04.05.2018 para su impresión.

2. ALCANCE

Este documento tiene la intención de servir como una plataforma integral para familiarizar a los ingenieros en ejercicio y a las partes interesadas con el aspecto de la mecanización involucrado en cada actividad de construcción y mantenimiento de carreteras. Este documento se ha compilado en base a un estudio extenso de las Publicaciones del IRC, códigos del BIS, revisión de literatura y prácticas actuales.

Este documento se divide en cinco partes. Las Partes A y B cubren los equipos para obras de carreteras y puentes, respectivamente. Se han hecho referencias a las Especificaciones del MoRTH. Cada equipo esencial para obras de carreteras y puentes se ha explicado por separado y se proporcionan especificaciones con respecto al rendimiento del equipo. La Parte C cubre los equipos para obras de túneles, donde se explican los diversos métodos de perforación junto

con los tipos de Máquina Perforadora de Túneles (TBM) y el Sistema de Ventilación de Túneles (TVS). La Parte D enumera los aparatos necesarios para varias pruebas de control de calidad, así como los equipos esenciales recomendados para mantener en los laboratorios centrales y de planta. La Parte E identifica los equipos esenciales para trabajos de restauración en la gestión de deslizamientos de tierra. Esta lista de equipos también puede ser utilizada como referencia para la mitigación de otros desastres como inundaciones.

Aspectos importantes del puente Bailey se han incluido junto con recomendaciones sobre sus criterios de selección. Las normas de emisión para vehículos de equipos de construcción y grupos electrógenos diésel se incluyen en los apéndices.

Las técnicas y equipos de topografía no se han incluido en este documento. La instrumentación para puentes y túneles también está fuera del alcance de este documento.

PART A: EQUIPO PARA OBRAS VIALES

3.EQUIPOS SEGÚN LA ACTIVIDAD PARA OBRAS VIALES

Tabla 1 enumere los equipos esenciales necesarios para cada actividad de construcción de carreteras

Tabla 1: Equipos por Actividad para Obras Viales

Sl. No.	Descripción del Trabajo/ Actividad	Equipo	Especificaciones del MoRTH (Quinta Revisión) Cláusula/ Sección	Observaciones
Despeje del Sitio				
1.	Despeje y Desbroce	i) Bulldozer/ Motoniveladora/ Excavadora Hidráulica/ Retroexcavadora con Cargador + Rompedor	201	
		ii) Camión Volquete o Tractor con Carro		Para el transporte
2.	Desmantelamiento de alcantarillas, puentes y otras Estructuras/Pavimentos	i. Compresor de Aire + Martillo Neumático o Excavadora Hidráulica/ Retroexcavadora con Cargador + Martillo Hidráulico	202	Para el desmantelamiento de pavimento de concreto de cemento, estructuras de concreto de cemento, barandas/cercas, postes eléctricos, trabajos de albañilería de ladrillo/azulejo/piedra.
		ii. Herramientas de Corte Portátiles (por ejemplo: Máquina de Sierra, Máquina de Corte de Gas, etc.)		Requerido para cortar madera/trabajo de acero.
		iii. Plataforma de Trabajo Elevadora Móvil (MEWP)		Para trabajar a una altura por encima del nivel del suelo.

Sl. No.	Descripción del Trabajo/ Actividad	Equipo	Especificaciones del MoRTH (Quinta Revisión) Cláusula/ Sección	Observaciones
		iv) Máquina Fresadora en Frío o Tractor/Topadora/Motoniveladora/Retroexcavadora Hidráulica + Excavador/ Escarificador		Para el desmontaje de pavimentos flexibles
		v) Cortador de Diamantes/ Sierra		Para el desmontaje de pavimento de concreto cementado
		vi) Grúa		Para aplicaciones de elevación (por ejemplo, tuberías); se recomienda una capacidad mínima de 8 ton
		vii) Camión Volquete o Carreta Tractora		Para transporte.
Movimiento de Tierras, Control de Erosión y Drenaje				
3.	Excavación en Suelo/Roca Ordinaria/Roca Dura/Suelo Pantanoso; Pre-corte de Taludes de Excavación en Roca	i)Topadora Raspador Excavadora Hidráulica Pala Hidráulica Retroexcavadora	301, 302, 303, 304	Topadora para cortes en laderas y cortes en caras verticales. Adecuada para transporte corto con una distancia de hasta 100 m. Raspador mejor adaptado para terraplenes de carreteras poco profundos en terrenos generalmente planosAdecuado para transporte de hasta 300 m.

Sl. No.	Descripción del Trabajo/ Actividad	Equipo	Especificaciones del MoRTH (Quinta Revisión) Cláusula/ Sección	Observaciones
		ii)Compresor de Aire + Martillo Neumático o Martillo Hidráulico (acoplado a Excavadora Hidráulica/Pala Hidráulica/Retroexcavadora) o Equipo de Perforación + Accesorios de Voladura		Para excavación en roca dura.
		iii) Bomba de Desagüe		Requerida en caso de acumulación de agua en la excavación debido a manantiales, filtraciones, lluvia u otras causas
		iv) Camión Volquete o Carreta Tractora		Para el transporte del material excavado. Se debe proporcionar cargador frontal/retroexcavadora/herramientas manuales (por ejemplo, pala) para cargar el camión volquete en caso de que se utilice una topadora y la distancia de transporte sea larga.

Sl. No.	Descripción del Trabajo/ Actividad	Equipo	Especificaciones del MoRTH (Quinta Revisión) Cláusula/ Sección	Observaciones
4.	Construcción de Terraplén (incluyendo Subrasante y Hombros de Tierra) con Material Obtenido de la Excavación de la Carretera y el Drenaje, Pozos de Préstamo u Otras Fuentes	i) Excavadora Hidráulica o Retroexcavadora	305, 313	
		ii)Camión Volquete o Carreta Tractora		Para el transporte de material al lugar de trabajo.
		iii)Topadora		Para operaciones de extendido; también para la extracción y almacenamiento de la capa vegetal de la zona de corte/cubierta con fines de reforestación (Cláusula 305.3.3).
		iv) Motoniveladora		Para operaciones de nivelación.
		v) Bomba de Desagüe		Requerida en caso de que la base del terraplén esté en una zona con agua estancada. semillas, etc.

Sl. No.	Descripción del Trabajo/ Actividad	Equipo	Especificaciones del MoRTH (Quinta Revisión) Cláusula/ Sección	Observaciones
		vi) Escarificador/ Rastrillo Escarificador/ Grada de Discos (acoplado a Tractor/Topadora /Motoniveladora/ Excavadora Hidráulica/Retroexcavadora)		Requerido para la escarificación del terreno original en caso de que deba compactarse antes de colocar la primera capa del terraplén (Cláusula 305.4.3). También para mezclar uniformemente agua con el material en caso de que su contenido de humedad sea bajo.
		vii) Camión Cisterna		Para añadir agua y lograr el contenido de humedad deseado.
		viii) Rodillo Vibratorio o Rodillo Estático o Rodillo Neumático		
		ix) Herramientas de Acabado		Para dar forma y acabado a los hombros/bermas /base de la carretera/pendientes laterales.
5.	Colocación de Césped con Placas de Hierba, Siembra y Aplicación de Mantillo	i) Camión Cisterna	307, 308	Para el riego de las placas de hierba/semillas
		ii) Carreta Tractora o Camión Volquete		Para el transporte de fertilizantes, placas de hierba, semillas, etc

Sl. No.	Descripción de Trabajo/ Actividad	Equipo	Especificaciones del MoRTH (Quinta Revisión) Cláusula/ Sección	Observaciones
6.	Drenajes de Superficie (No Revestidos) / Drenajes Subterráneos	i) Excavadora Hidráulica o Retroexcavadora	309	Para excavación/relleno; No se considera equipo de transporte, ya que se asume que el material excavado se utiliza en el lugar en la construcción del terraplén/subrasante
7.	Preparación y Tratamiento Superficial de la Formación	i) Rodillo de Ruedas Lisas	310	Se prefiere un rodillo de 8-10 toneladas.
		ii)Camión Cisterna		Para añadir agua y lograr el contenido de humedad deseado.
Sub-Base y Base (No- Bituminosas)				
8.	Sub-Base Granular con material bien graduado mediante el Método de Mezcla en Planta	i) Planta de Mezcla Húmeda	401	
		ii) Generador Eléctrico		
		iii) Cargadora Frontal o Retroexcavadora		Para cargar y transportar áridos/mezcla.
		iv) Camión Volquete		
		v) Motoniveladora		Para operaciones de extendido/nivelación.
		vi) Camión Cisterna		Para controlar el contenido de humedad durante la compactación.

Sl. No.	Descripción de Trabajo/ Actividad	Equipo	Especificaciones del MoRTH (Quinta Revisión) Cláusula/ Sección	Observaciones
		vii) Rodillo Vibratorio o Rodillo Triciclo Liso		
9.	Sub-Base Granular con material bien graduado mediante el Método de Mezcla en el Lugar	i) Tractor + Rotavator/ Rastrillo de Discos ii) Camión Cisterna iii) Motoniveladora iv) Rodillo Vibratorio o Rodillo Triciclo Liso	401	
10.	Estabilización con Cal para Mejora de la Subrasante/Sub-base o Suelo Tratado con Cemento y Sub-base/Base Tratada con Cemento y Ceniza Volante	i) Tractor con Implementos de Escarificación y Rotavator o Tractor con Rastrillo de Discos o Estabilizador de Suelo Móvil o Planta de Estabilización de Suelo (Estacionaria)	402, 403	Para planta estacionaria, se debe proporcionar Retroexcavadora y Camión Volquete para el transporte de material a la planta y de material tratado de la planta al sitio. El material tratado se debe colocar en el sitio utilizando una acabadora de pavimento.

Sl. No.	Descripción del trabajo/ actividad	Equipamiento	Especificaciones de MoRTH (Quinta Revisión) Cláusula/ Sección	Observaciones
		ii) Motoniveladora		
		iii) Rodillo Vibratorio		
		iv) Camión Cisterna de Agua		
11.	Subbase/Base de Macadam con Adhesión al Agua	i) Camión Volquete	404	Para el transporte de áridos al sitio.
		ii) Motoniveladora		Para operaciones de esparcimiento/nivelación.
		iii) Rodillo de tres ruedas liso o rodillo vibratorio		
		iv) Camión Cisterna de Agua		
12.	Subbase de Concreto Cementado Triturado"	i) Cargador Frontal o Retroexcavadora	405	Para el transporte de losas de concreto cementado triturado al sitio.
		ii) Camión Volquete		
		iii) Motoniveladora		Para operaciones de esparcimiento/ nivelación.
		iv) Rodillo de tres ruedas liso o rodillo vibratorio		
		v) Camión Cisterna de Agua		

Sl. No.	Descripción del Trabajo/ Actividad	Equipamiento	Especificaciones de MoRTH (Quinta Revisión) Cláusula/ Sección	Observaciones
13.	Mezcla Húmeda de Macadam Subbase/Base o Base de Macadam Triturado por Método de Mezcla en Planta	i) Planta de Mezcla Húmeda	406, 407	
		ii) Generador Eléctrico		
		iii) Cargador Frontal o Retroexcavadora		
		iv. Camión Volquete		
		v) Finalizador de Pavimento (con sensor electrónico)		Para el Macadam Triturado, la Motoniveladora puede ser utilizada para operaciones de esparcimiento/acabado.
		vi) Rodillo de tres ruedas liso o rodillo vibratorio		
		vii) Camión Cisterna		
14.	Base de Macadam Triturado por Método de Mezcla en el Lugar	i) Camión Volquete o Tractor con Remolque	407	Para el transporte de áridos al sitio.
		ii) Tractor + Rotavator/Disc Harrow		Para la operación de mezcla in situ.
		iii) Motoniveladora		Para operaciones de esparcimiento.
		iv) Rodillo de tres ruedas liso o rodillo vibratorio		

Sl. No.	Descripción del Trabajo/ Actividad	Equipamiento	Especificaciones de MoRTH (Quinta Revisión) Cláusula/ Sección	Observaciones
		v) Camión Cisterna		
15.	Construcción de mediana e isla con cubierta de tierra, utilizando suelo de áreas de préstamo o cortes de carreteras	i) Excavadora Hidráulica o Retroexcavadora	408	Para excavación en caso de áreas de préstamo.
		ii) Camión Volquete		Para transporte de suelo al sitio.
		iii) Camión Cisterna		
		iv) Compactadora de Placa		
16.	Borde de concreto de cemento y bordillo con canal	i) Mezcladora de Concreto o Planta de Mezcla y Dosificación de Concreto	409	Proveer un mezclador de tránsito o camión agitador para el transporte de la mezcla en caso de que la planta esté lejos del lugar de trabajo.
		ii) Generador Eléctrico		
		iii) Máquina para Fundir Bordillos		
		iv) Camión Cisterna		
		v) Cortadora/Sierra de Diamante		Para cortar surcos.
17.	Veredas y separadores	i) Rodillo Vibratorio o Compactadora de Placa	410	Para la preparación de la base para losas/bloques/paneles de concreto fundido in situ o prefabricado, baldosas o losas de piedra natural.
		ii) Camión Cisterna		

Sl. No.	Descripción del Trabajo/ Actividad	Equipamiento	Especificaciones de MoRTH (Quinta Revisión) Cláusula/ Sección	Observaciones
		iii) Mezcladora de Concreto Generador Eléctrico + Molde		Para el colado in situ de losas/bloques/paneles de concreto.
Bases y Capas Superiores (Bituminosas)				
18.	Capa de Imprimación o Capa de Riego o Rociado de Niebla	i) Barredora de Calles	502, 503, 513	
		ii) Compresor de Aire		Para la limpieza con un chorro de aire a alta presión.
		iii) Distribuidor de Asfalto		
		iv) Camión Cisterna		Para humedecer la superficie en caso de emulsión bituminosa.
19.	Macadam Bituminoso o Macadam Bituminoso Denso o Curso Base de Asfalto de Arena o Concreto Bituminoso o Superficie Premix de Grano Cerrado / Superficie de Sellado Mezclado O Superficie Premix de Grano Abierto utilizando Asfalto Viscoso o Capa de Sellado Tipo B (Utilizando Asfalto de Pavimentación) o Asfalto de Matriz de Piedra	i) Hot Mix Plant	504, 505, 506, 507, 508, 510.1, 511, 515	

Sl. No.	Descripción del Trabajo/ Actividad	Equipamiento	Especificaciones de MoRTH (Quinta Revisión) Cláusula/ Sección	Observaciones
		ii) Grupo electrógeno eléctrico		
		iii) Cargador frontal o Retroexcavadora		
		iv) Camión volquete		
		v) Terminadora de adoquines (con sensor electrónico)		
		vi) Liso Rodillo con ruedas o Rodillo vibratorio Neumático Rodillo cansado		Por lo general, rodillo de ruedas lisas de 8 a 10 toneladas para el laminado inicial; Rodillo estático/vibratorio de 8 a 10 toneladas o rodillo de neumáticos de 12 a 15 toneladas para laminado intermedio; Rodillo liso con ruedas de 6-8 toneladas para acabado de laminado.
20.	Revestimiento de superficies o Capa de sellado tipo A o Cursos de Prevención de Grietas (Membrana Absorción de Tensión)	i) Barrendero	509, 511, 517	
		ii) Compresor de aire		Para limpieza mediante chorro de aire a alta presión.
		iii) Cisterna de agua		Para humedecer la superficie; Se utiliza únicamente en el caso de emulsión bituminosa.

Sl. No.	Descripción del Trabajo/ Actividad	Equipamiento	Especificaciones de MoRTH (Quinta Revisión) Cláusula/ Sección	Observaciones
		iv) Betún Distribuidor		
		v) Cargador frontal Retroexcavadora		Para transporte de áridos/astillas.
		vi) Camión volquete		
		vii) Chip agregado Esparcidor		
		viii) Rodillo neumático		
21.	Superficie de premezcla graduada abierta utilizando emulsión bituminosa catiónica o Capa de sellado tipo B (usando emulsión bituminosa)	i) Planta mezcladora bituminosa en frío (tipo móvil) o hormigonera	510.2, 511	
		ii) Grupo electrógeno eléctrico		
		iii) Cargador frontal Retroexcavadora		
		iv) Camión volquete		
		v) Terminadora de adoquines (con sensor electrónico)		
		vi) Rodillo de ruedas liso o rodillo vibratorio		

Sl. No.	Descripción del Trabajo/Actividad	Equipamiento	Especificaciones MoRTH (Quinta Revisión) Clausula/ Sección	Observaciones
22.	Sello de lodo o Micro-Superficie	i) Barredora de Carretera	512, 514	
		ii) Compresor de Aire		
		iii) Equipo Móvil de Sello de Lodo/Micro-Superficie		
		iv) Rodillo Neumático		Solo en casos donde se requiera compactación debido a una cohesión insuficiente.
23.	Asfalto Mastic	Planta de Mezcla en Caliente tipo Batch o Cocedor de Asfalto Mastic	516	
		ii) Carretillas y Bandejas Planas de Mortero o Transportador de Mezclador Remolcado (con disposiciones para agitar y calentar la mezcla)		Carretilla para transporte a corta distancia únicamente.
		iii) Terminadora de Pavimento + Esparcidor de Agregado o Paletas de Madera, Flotadores de Madera Pesados, Herramientas Manuales Adecuadas (calibre, regla recta, nivel de mano, escuadras)		Para propósitos de colocación/esparcimiento.

Sl. No.	Descripción del Trabajo/Actividad	Equipamiento	Especificaciones MoRTH (Quinta Revisión) Clausula/ Sección	Observaciones
24.	Mezcla Fría Bituminosa (incluyendo Emulsión de Grava)	i) Planta de Mezcla Bituminosa en Frío o Mezcladora de Concreto	518	La Mezcladora de Concreto puede ser permitida para trabajos pequeños.
		ii) Generador Eléctrico		
		iii) Cargadora Frontal o Retroexcavadora		
		iv) Camión Volquete		
		v) Terminadora de Pavimento (con sensor electrónico)		
		i)) Rodillo Neumático		Para Compactación Inicial; usualmente se prefiere un rodillo de 8-10 toneladas.
		vii) Rodillo de Ruedas Lisas		Para Compactación Final; usualmente se prefiere un rodillo de 6-8 toneladas.
25.	Reciclaje de Pavimento Bituminoso (Reciclaje en Planta Caliente)	i) Fresadora en Frío o Escarificador/ Rodillo de Rejilla/ Rompedor y Trituradora (usualmente tipo Impacto)	519	Para remoción del pavimento bituminoso existente.
		ii) Barredora de Carretera		Para limpieza y preparación de la superficie.
		iii) Compresor de Aire		

Sl. No.	Descripción del Trabajo/Actividad	Equipamiento	Especificaciones MoRTH (Quinta Revisión) Clausula/ Sección	Observaciones
		iv) Distribuidor de Betún		Para aplicación de imprimación/capa de ligante.
		v) Planta de Mezcla en Caliente (con capacidad de adición de RBP en la Mezcladora)		
		vi) Generador Eléctrico		
		vii) Cargadora Frontal Retroexcavadora		
		viii) Camión Volquete		
		ix) Terminadora de Pavimento (con sensor electrónico)		
		x) Rodillo de Ruedas Lisas		Para Compactación Inicial; generalmente se utiliza un rodillo de 8-10 toneladas.
		xi) Rodillo Estático o Vibratorio/ Rodillo Neumático		Para Compactación Intermedia; generalmente se prefiere un peso operativo de 8-10 toneladas para el rodillo estático/vibratorio y de 12-15 toneladas para el rodillo neumático.
		xii) Rodillo de Ruedas Lisas		Para Compactación Final; generalmente se utiliza un rodillo de 6-8 toneladas.

Sl. No.	Descripción del Trabajo/Actividad	Equipamiento	Especificaciones MoRTH (Quinta Revisión) Clausula/ Sección	Observaciones
26.	Reciclaje de Pavimento Bituminoso (Reciclaje en Caliente en el Lugar)	i) Equipo de Reciclaje en Caliente en el Lugar	519	
27.	Reciclaje de Paviment Bituminoso (Reciclaje en Frío en el Lugar)	i) Equipo de Reciclaje en Frío en el Lugar	519	
Pavimento de Hormigón Cementado				
28.-	Hormigón Magro Seco (DLC)	i) Barredora de Carretera	601	Para limpiar la subbase antes de colocar el DLC.
		ii) Compresor de Aire		
		iii) Planta de Mezcla y Mezclado de Concreto o Mezcladora de Concreto		
		iv) Generador Eléctrico		
		v) Cargadora Frontal Retroexcavadora		Para transporte de áridos/hormigón magro seco.
		vi) Camión Volquete		
		vii) Terminadora de Pavimento (con sensor electrónico)		
		viii) Rodillo Vibratorio		
		ix) Camión Cisterna		Para operaciones de curado.
		x) Martillo Neumático		Para operaciones de acabado.

Sl. No.	Descripción del Trabajo/Actividad	Equipamiento	Especificaciones MoRTH (Quinta Revisión) Clausula/ Sección	Observaciones
29.	Concreto de Calidad de Pavimento (PQC)	i) Barredora de Carretera	602	Para limpiar la subbase antes de colocar la membrana de separación.
		ii) Compresor de Aire		
		iii) Planta de Mezcla y Mezclado de Concreto o Mezcladora de Concreto		
		iv) Generador Eléctrico		
		v) Cargadora Frontal Retroexcavadora		Para transporte de áridos.
		vi) Camión Volquete o Mezclador de Tránsito		Para transporte de concreto de calidad para pavimento.
		vii) Colocador/ Esparcidor de Concreto		
		viii) Pavimentadora de Concreto		
		ix) Insertador de Barra de Anclaje o Soporte de Barra de Anclaje		
		x) Insertador de Barra de Amarre o Conjunto de Soporte de Barra de Amarre		

Sl. No.	Descripción del Trabajo/Actividad	Equipamiento	Especificaciones MoRTH (Quinta Revisión) Clausula/ Sección	Observaciones
		xi) Vibrador/Concreto		
		xii) Flotador		
		xiii) Equipo para Texturizar		
		xiv) Rociador de Compuesto Curado		Para compuesto líquido de curado.
		xv) Cortadora/Sierra de Diamante		Para corte de juntas.
		xvi) Camión Cisterna		
		xvii) Herramienta de Bordeado		
		xviii) Fundidor de Sellador de Juntas + Vertedor de Sellador de Juntas o Máquina Selladora de Juntas		
		Geo sintéticos		
30.	Cursos de Prevención de Grietas (Geotextil Impregnado de Betún) o Colocación de Tela de Pavimentación o Rejilla de Vidrio Debajo de una Superposición de Pavimento	i) Barredora de Carretera	517, 708	Para aplicación de capa de imprimación; la capa de imprimación no es necesaria para las rejillas de fibra de vidrio con adhesivo en un lado.
		ii) Compresor de Aire		
		iii) Distribuidor de Betún		
		iv) Equipo de Colocación Mecánico o Manual (montado en tractor)		Para colocación de tela de pavimentación/rejilla de vidrio/geotextil impregnado de betún
		v) Rodillo Neumático		Se recomienda un rodillo de 12-15 toneladas.

Sl. No.	Descripción del Trabajo/Actividad	Equipamiento	Especificaciones MoRTH (Quinta Revisión) Clausula/ Sección	Observaciones
Señales de tráfico y otros accesorios viales				
31.	Señales de tráfico/ Señales aéreas	i) Tractor-Carro o Camión	801, 802	Para transporte de signos.
		ii) Retroexcavadora Cargador o Herramientas manuales		Para excavación de fundación.
		iii) Hormigonera + Eléctrico Grupo electrógeno + Cisterna de agua		Para in situ concreto base.
		iv) Grúa		Para armadura y soporte vertical en caso de señales aéreas.
32.	Marcas viales	i) Señalización vial Máquina	803	
		ii) Tractor-Carro o Camión		Para transporte de pintura material/vidrio rosario.
Mantenimiento de Carreteras				
33.	Restauración de la lluvia cortes	i) Hidráulico Excavador o Retroexcavadora Cargador	3002	
		ii) Camión volquete o Carro-Tractor		

Sl. No.	Descripción del Trabajo/Actividad	Equipamiento	Especificaciones MoRTH (Quinta Revisión) Clausula/ Sección	Observaciones
		iii) Camión cisterna de agua		Por lograr óptima humedad contenido.
		iv) Placa Compactador o Estiba		
34.	Mantenimiento de Hombros de tierra	i) Hidráulico Excavador o Retroexcavadora Cargador	3003	Para excavación y Transporte de tierra fresca al sitio para hacer arriba de tierra hombro.
		ii) Camión volquete o Carro-Tractor		
		iii) Motoniveladora o Herramientas manuales		Por lograr grado requerido/ nivel y recorte de lado pendientes. También, para pelar la tierra hombro adentro caso de exceso suelo.
		iv) Suave Rodillo con ruedas o Rodillo vibratorio o Rodillo de mano o Compactador de placa o Estiba		

Sl. No.	Descripción del Trabajo/Actividad	Equipamiento	Especificaciones MoRTH (Quinta Revisión) Clausula/ Sección	Observaciones
		v) Camión cisterna de agua		Por lograr óptima humedad contenido.
35.	Llenar baches y reparaciones de parches (usando Mezcla Caliente preparado en Planta de Mezcla Caliente)	i) Neumático Interruptor automático o Herramientas manuales	3004.2	Para la preparación de bache/parche área.
		ii) Compresor de aire		Para limpieza de bache/parche área.
		iii) Betún Distribuidor		Para aplicación de capa adhesiva.
		iv) Planta de mezcla en caliente		
		v) Grupo electrógeno eléctrico		
		vi) Parte delantera Cargador o retroexcavador Cargador		
		vii) Camión volquete		
		viii) Suave Rodillo con ruedas o Rodillo de mano o Lámina Compactador o Estiba		
36.	Relleno de baches y Reparaciones de parches (en caliente o Mezcla en Frío usando Totalmente Mecanizado Medio)	i) Reparación de baches Máquina	3004.2	

Sl. No.	Descripción del Trabajo/Actividad	Equipamiento	Especificaciones MoRTH (Quinta Revisión) Clausula/ Sección	Observaciones
37.	Reparación de articulación Surcos con Mortero Epoxi o Hormigón epoxi (Mantenimiento de Cemento Concreto Camino)	i) Neumático Interruptor automático o Herramienta manuales (por ejemplo: cincel) O Diamante Cortador/Sierra	3005.1	Para dar forma de desconchado o bordes rotos.
		ii) Compresor de aire		Para limpieza de área desconchada.
		iii) Herramientas manuales (Paleta, borde recto, cepillo, pala, Manosear, Solera, etc.)		Para aplicación epoxy mortero/ concreto.
38.	Reparación de viejos Sellador de juntas (Mantenimiento de Cemento Concreto Camino)	i) Rastrillo de Metal	3005.2	Para rastrillar sellador existente
		ii) Diamante Cortador/Sierra		Para eliminar sellador pegado a los lados de los surcos y ampliación de surcos.
		iii) Compresor de aire		Para limpieza de ranuras articulares.
		iv) Voladura de arena máquina		
		v) Varilla de respaldo Instalación Herramienta/ Rodillo Rueda		
		vi) Cepillo		

Sl. No.	Descripción del Trabajo/Actividad	Equipamiento	Especificaciones MoRTH (Quinta Revisión) Clausula/ Sección	Observaciones
		vii) Sellador de juntas Fusor + Junta Vertedor de sellador o Sellado juntas Máquina		Para verter sellador.
		viii) Flotador/Paleta		
39.	Deslizamiento de tierra Autorización	i) Topadora o Hidráulico Excavador o Retroexcavadora Cargador		
		ii) Neumático Interruptor Automático o Hidráulico Interrupto automático (adjunto a Hidráulico Excavador/ Retroexcavador Cargador)		Para romper piedra dura.
40.	Despeje de nieve activado Carreteras	i) Topadora o Soplador de nieve		
Extracción de Rocas y Transporte de Material				
41.	Producción de Grava Agregados	i) Hidráulico Excavador/ retroexcavadora Cargador + Hidráulico Interruptor automático/ Trituradora de cubo O Neumático Interruptor automático	116, 520	Para romper rocas en roca sitio de cantera.

Sl. No.	Descripción del Trabajo/Actividad	Equipamiento	Especificaciones MoRTH (Quinta Revisión) Clausula/ Sección	Observaciones
		ii) Camión volquete		Para transporte de material a planta de trituración sitio.
		ii) Integrado Trituración de piedra Planta		Consiste en Primaria y Secundario/ Terciario Trituradoras y Vibratorio/ Giratorio Poner en pantalla Unidad(es) a lograr agregados de tamaño deseado.
42.	Cargando y descarga de material, incluyendo acarreo	i) Camión volquete o Carro tractor	105.7	
		ii) Parte delantera Cargador o retroexcavadora Cargador		
Enclavado del suelo				
43.	Perforado y enlechado Clavos del suelo	i) Hidráulico Excavador o Hidráulico Pala o retroexcavadora Cargador o Interfaz Cargador O Raspador	3200	

Sl. No.	Descripción de trabajo/actividad	Equipamiento	MoRTH Especificaciones (Quinta Revisión) Cláusula/ Sección	observaciones
		ii) Camión volqueta		
		iii) Equipo de perforación		
		iv) Equipo de inyección de lechada		
		v) Compresor de aire+ equipo de proyección de concreto proyectado		Para revestimiento temporal
		vi) Grúa		Para el transporte de bloques de concretos prefabricados en caso de revestimiento permanente.

4. DESCRIPCION DEL EQUIPO ESENCIAL PARA OBRAS CIVILES

4.1 Bulldozer

4.1.1 El Bulldozer (**Figure 1**) es una unidad tractorizada autónoma con una hoja adjunta en la parte frontal de la máquina. Es principalmente una unidad de empuje.

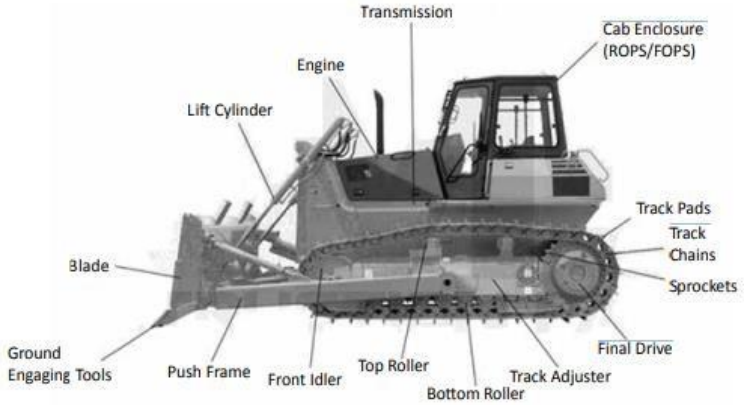


Figura 1: Bulldozer (Tipo oruga)

Cuchilla, cilindro de elevación, motor, transmisión, cabina cerrada, almohadillas de la oruga, cadenas de la oruga, piñones, tren de transmisión final, tensor de la oruga, rodillo inferior, rodillo superior, rodillo delantero, bastidor de empuje, herramientas de trabajo en el suelo.

pero puede realizar una variedad de funciones dependiendo del accesorio fijado a la unidad básica.

Un bulldozer puede empujar material de manera económica hasta una distancia de 100 m.

La **Tabla 2** muestra las aplicaciones de varios accesorios de bulldozer junto con los parámetros de evaluación de rendimiento para cada tipo de accesorio.

Tabla 2: Aplicaciones de bulldozer en el sector de carreteras

Sl. No.	Bulldozer accesorios	Tipo de accesorios	Actividad/ aplicación	Parámetros de evaluación de rendimiento
1.	Hoja	Hoja recta	Relleno, descepado, desnudado, conformación, zanjas, nivelación y esparcimiento de material de relleno.	a) Kilovatio por metro de borde de corte b) Kilovatio por metro cúbico suelto de material retenido frente a la hoja
2.		Hoja angular	Lanzamiento lateral de material, especialmente para relleno o corte lateral en laderas, descepado, desnudado, conformación, apertura de senderos y Bulldozer general de materiales de medianos a blandos	
3.		Hoja universal	Más adecuado para materiales más ligeros, trabajos de acopio, trampas para cargadores y recuperación de tierras	
4.		Hoja semi-universal	Muy adecuado para suelos de blandos a medianamente duros, descepado, desnudado, relleno, zanjas, perfilado y nivelación	

Sl. No.	Bulldozer accesorios	Tipo de accesorios	Actividad/ aplicación	Parámetros de evaluación de rendimiento
5.		Hoja amortiguadora	Raspadores para empujar y limpiar el área cortada	
6.		Hoja de potencia, ángulo y inclinación (PAT)	Nivelación, relleno, despeje de terrenos, nivelación del suelo y esparcimiento de material de relleno	
7.	Escarificador	Radial	Aflojar materiales densamente compactados para una mejor penetración de la hoja y facilitar el empuje por el bulldozer.	
8.		Paralelogramo		
9.		Variable		
10.		Impacto		
11.	Cabrestante	Controlado manualmente	Arranque de árboles, arrastre de rocas grandes o materiales pesados, recuperación general/ equipamiento	a) Máxima tracción de línea b) Máxima velocidad de línea
12.		Controlado por potencia		
13.	Barra de tiro oscilante		Para propósito de transporte	a) Máxima tracción de barra de tiro

4.1.1 El bulldozer puede ser montado sobre orugas o ruedas y se seleccionará según las condiciones del sitio, la distancia de trabajo, el volumen de carga, la dificultad del trabajo, etc.

4.1.2 **La Tabla 3** proporciona recomendaciones para la selección del bulldozer según el tamaño del proyecto vial para su despliegue. La selección del bulldozer estará sujeta al requisito de producción del bulldozer, teniendo en cuenta varios factores como la cantidad de trabajo y el plazo para el proyecto en cuestión, las condiciones del sitio, la experiencia, etc.

Tabla 3. Recomendaciones para la Selección deBulldozer Basada en el Tamaño del Proyecto vial

Sl. No.	Tamaño del Proyecto Vial	Potencia del Motor (KW o HP Brutos)	Tracción de la Barra de Tiro (KN, en 2da marcha)
1.	Pequeño	KW>52 (HP> 70)	> 45
2.	Mediano	KW>75 (HP> 100)	> 90
3.	Grande	KW>104 (HP> 140)	>140

Table 4 proporciona el peso operativo típico del bulldozer y el tipo de hoja para proyectos viales de diferentes tamaños.

Table 4: Peso Operativo del Bulldozer y tipo de hoja para Proyectos viales de Diferentes Tamaños.

Sl. No.	Tamaño del Proyecto Vial	Peso Operativo (Kg)"	Tipo de Hoja
1.	Pequeño	> 7,500	Cuchilla angular
2.	Mediano	>15,000	Semi-U
3.	Grande	> 20,000	Semi-U or PAT

4.1.1 Para más información sobre bulldozers, consulta IRC:125

4.2 Excavadora Hidráulica

4.2.1 Una Excavadora Hidráulica **(Figura 2)** es una máquina autopropulsada sobre orugas o ruedas, con una estructura superior capaz de girar 360° y con equipo montado, diseñada principalmente

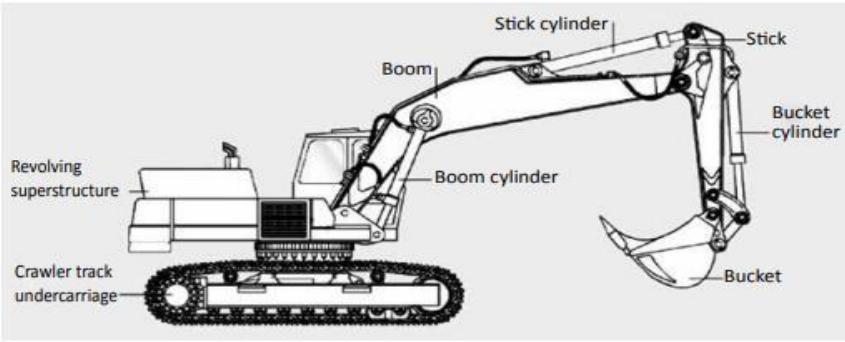


Figura 2: Excavadora Hidráulica (Tipo oruga)

Pluma, cilindro del brazo, brazo, cilindro del cucharón, cucharón, cilindro de la pluma, trende rodaje de oruga, superestructura giratoria

Para excavar con una cuchara, sin movimiento del chasis o la estructura inferior durante ninguna parte del ciclo de trabajo de la máquina. El ciclo de trabajo de una excavadora normalmente comprende la excavación, elevación, giro y descarga de material. También puede utilizarse para manipulación/transporte de objetos o materiales.

Las excavadoras hidráulicas son máquinas versátiles y se caracterizan por tiempos de ciclo cortos, control positivo y preciso de los accesorios, alta eficiencia general, suavidad y facilidad de operación.

Una excavadora hidráulica consta de lo siguiente:

i) Máquina base con cabina o toldo y estructuras de protección del operador (si es necesario) y con los montajes necesarios para equipos y accesorios.

ii) Equipo o accesorio de trabajo (que consta de pluma, brazo y cucharón) que atiende a la función de diseño principal de la excavadora.

iii) Otros accesorios para usos específicos.

4.2.2 En el sector de la construcción de carreteras, la excavadora hidráulica se utiliza para las siguientes aplicaciones.

i) Despeje del sitio y preparación inicial del terreno

ii) Extracción en canteras

iii) Corte y relleno

iv) Construcción de terraplenes

v) Rotura de rocas

vi) Demolición de estructuras

vii) Manipulación de materiales

viii) Aplicaciones de elevación

4.2.3 La excavadora hidráulica puede clasificarse según el tipo de estructura portante, el tipo de equipo (o accesorio de trabajo) o el peso operative.

Basándose en la estructura portante, las excavadoras pueden ser:

i) Tipo oruga

ii) Tipo ruedas

La máquina tipo oruga tiene ventajas de mejor flotación, mayor tracción, mejor maniobrabilidad y reposicionamiento más rápido.

Puede trabajar en condiciones de suelo severas. La selección del zapato de las orugas se determina según las condiciones del terreno. La máquina de ruedas tiene ventajas de mejor movilidad y velocidad. No daña las superficies pavimentadas y la estabilidad.

Según el equipo (o accesorio de trabajo), las excavadoras pueden clasificarse como:

i) Tipo pala (para cortar hacia la máquina y generalmente hacia abajo; principalmente utilizado para excavación a nivel del suelo)

ii) Tipo pala de carga (para cortar lejos de la máquina y generalmente hacia arriba; principalmente utilizado para excavación sobre el nivel del suelo)

iii) Tipo concha (para excavar o agarrar en una dirección generalmente vertical, descargando por debajo y por encima del plano de referencia del suelo)

iv) Tipo de pluma telescópica (utilizado principalmente para la excavación y/o nivelación de pendientes)

Basándose en el peso operativo y con respecto a la aplicación en el sector de carreteras, las excavadoras pueden clasificarse como:

i) Tipo Clase I (peso operativo < 6 toneladas)
ii) Tipo Clase II (peso operativo 6–8 toneladas)
iii) Tipo Clase III (peso operativo 8–12 toneladas)
iv) Tipo Clase IV (peso operativo 12–19 toneladas)
v) Tipo Clase V (peso operativo 19–25 toneladas)
vi) Tipo Clase VI (peso operativo 25–36 toneladas)
vii) Tipo Clase VII (peso operativo > 36 toneladas)

Las excavadoras Clase V son preferidas para la mayoría de las actividades de construcción. Las Clase III son adecuadas para aplicaciones en zanjas, riego y trabajos de servicios públicos, y las Clase VI y Clase VII son preferidas en canteras y minas.

4.2.4 Las excavadoras hidráulicas pueden equiparse con una amplia variedad de accesorios como:

i) Cucharón tipo pala
ii) Cucharón tipo pala de carga
iii) Cucharón tipo concha
iv) Cucharón de drenaje (expulsor)

v) Cucharón para Limpieza de Zanjas (Cunetas)
vi) Martillo Hidráulico
vii) Garra Hidráulica
viii) Herramienta Hidráulica de Demolición (Cizalla, Trituradora de Cubos)
ix) Escarificador
x) Cucharón Escarificador
xi) Gancho
xii) Electroimán
xiii) Abrazadera
xiv) Cuchilla
xv) Compactador de Placas
xvi) Martillo Piloteado
xvii) Barrena
xviii) Acoplador Rápido

Al seleccionar accesorios para una excavadora, se deben tener en cuenta los siguientes factores:

i) Peso operativo de la excavadora
ii) Capacidad hidráulica del sistema

4.2.5 Los cucharones se clasifican según sus capacidad colapsada y amontonada. La capacidad del cucharón generalmente se expresa en metros cúbicos sueltos (lcm).

4.2.6 Las excavadoras hidráulicas con potencia del motor que va desde 60 HP hasta 250 HP y capacidades de cucharón que varían desde 0.09 m^3 hasta 2.10 m^3 se utiliza comúnmente en el sector de carreteras.

4.2.7 Dado que una excavadora se utiliza principalmente para la manipulación de materiales y corte, su rendimiento se puede evaluar considerando dos parámetros importantes:

i) Capacidad de Elevación
ii) Capacidad de Excavación

Los principales factores que afectan el rendimiento de la excavadora son:

i) Condiciones del Sitio: topografía y geología del sitio, características geotécnicas del suelo/rocas, clima, etc.

ii) Tiempo de Ciclo: ángulo de giro, profundidad de corte

iii) Peso de la máquina

iv) Capacidad Hidráulica de la Máquina

v) Tamaño y Características del Cucharón: tamaño del cucharón, radio de la punta.

vi) Tiempo de Inactividad del Equipo: reparaciones y mantenimiento del equipo.

vii) Habilidad del Operador.

4.3 Motoniveladora

4.3.1 Una motoniveladora (Figura 3) es una máquina autopropulsada con ruedas que tiene una cuchilla ajustable, ubicada entre los ejes delanteros y traseros, la cual corta, desplaza y esparce materiales, generalmente siguiendo los requisitos de nivelación.

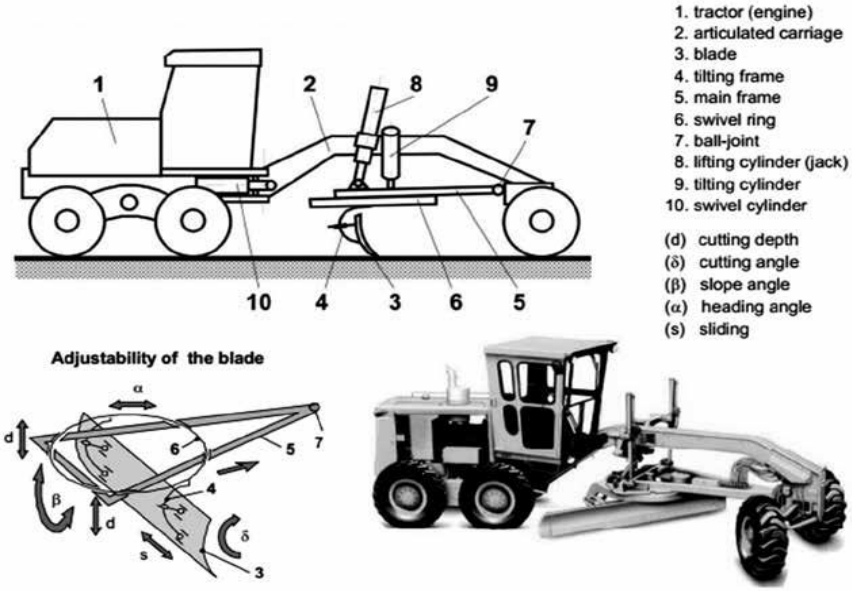


Figure 3: Motoniveladora

Tractor (motor), carro articulado, cuchilla, bastidor inclinable, bastidor principal, anillo giratorio, articulación esférica, cilindro de elevación (gato), cilindro de inclinación, cilindro giratorio, profundidad de corte, ángulo de corte, ángulo de inclinación, ángulo de avance, deslizamiento.

4.3.2 La cuchilla (también llamada tabla de moldura) es la principal herramienta de una motoniveladora. Está soportada por un círculo giratorio y se puede maniobrar fácilmente hacia una amplia gama de posiciones de corte, con la ayuda de controles hidráulicos, como se indica a continuación:

i) **Desplazamiento Lateral**– Un cilindro de desplazamiento lateral de la cuchilla, operado por una palanca, facilita el desplazamiento de la cuchilla hacia cualquiera de los lados de la motoniveladora según sea necesario.

ii) **Elevación Vertical**– La cuchilla puede ser elevada o bajada mediante palancas que operan los dos cilindros conectados a la cuchilla. Ambos cilindros pueden operarse por separado para elevar/bajar la cuchilla en posición inclinada u horizontal según sea necesario.

iii) **Movimiento Rotativo**– El círculo giratorio junto con la cuchilla puede rotar en dirección horaria o antihoraria mediante un motor hidráulico operado por una palanca, para posicionar la cuchilla en el ángulo deseado con respecto a la línea o dirección de desplazamiento.

iv) **Inclinación de la Cuchilla–** El ángulo de corte de la cuchilla puede ajustarse hidráulicamente en algunas máquinas y manualmente en otras.

4.3.3 Una motoniveladora puede estar equipada con los siguientes accesorios opcionales según los requisitos del trabajo:

i) **Escarificador–** Mecanismo con dientes para penetrar y aflojar materiales hasta profundidades poco profundas, como tierra, asfalto, grava y superficies similares. El escarificador puede ubicarse en la motoniveladora delante de las ruedas delanteras o entre las ruedas delanteras y traseras.

ii) **Escarificador (Ripper) –** Un accesorio que consiste en un marco equipado con uno o varios dientes y se conecta a la parte trasera de la máquina mediante un soporte de montaje.

iii) **Quitanieves–** Estructura ubicada delante de las ruedas delanteras, diseñada para mover la nieve lateralmente mediante la acción de una tabla de moldura. La quitanieves puede ser de configuración unidireccional o en forma de V.

iv) **Cuchilla Frontal–** Una cuchilla generalmente curvada como una tabla de moldura ubicada delante de las ruedas delanteras, diseñada para raspar y empujar tierra y materiales similares generalmente hacia adelante.

4.3.4 Las aplicaciones de la motoniveladora incluyen acabado, conformado, inclinación de taludes, zanjeo, movimiento de cordones de material, mezcla, esparcimiento, desplazamiento lateral, nivelación y coronación, operaciones de desbroce ligero, despeje de deslizamientos/nieve, construcción general y mantenimiento de caminos de tierra y caminos de transporte.

4.3.5 Generalmente, se utilizan motoniveladoras con una potencia del motor que varía entre 119 HP y 265 HP en el sector de carreteras. Según los datos recopilados de los fabricantes,

se proporciona un rango típico de especificaciones para las motoniveladoras en la **Tabla 5.**

Tabla 5: Especificaciones para Motoniveladoras

Sl. No.	Especificaciones	Rango
1.	Velocidad máxima, adelante/ reversa	40.8/51.7 km/hr
2.	Velocidad mínima, adelante/ reversa	34 .1/42.5 km/hr
3.	Radio de Giro	6.5-12.4 m
4.	Tracción de la Cuchilla	3.1-7.3 m
5.	Ángulo Máximo de Posicionamiento de la Cuchilla	413-550 mm
6.	Desplazamiento Lateral de la Tabla de Moldura - Derecha	5480-43518 kg
7.	Derecha	35°-90°
8.	Desplazamiento Lateral de la Tabla de Moldura – Izquierda	660-4902 mm
9.	Izquierda	510-4528 mm
10.	Altura Máxima sobre el Suelo	400-634 mm
11.	Profundidad Máxima de Corte	400-790 mm
12.	Peso Bruto del Vehículo (GVW por sus siglas en inglés)	12000-65840 kg

4.4 Raspador

4.4.1 Un rascador **(Figura 4)** es una máquina autopropulsada o remolcada, de orugas o ruedas, que tiene un recipiente abierto con un borde cortante posicionado entre los ejes, el cual corta, carga, transporta, descarga y esparce material mediante el movimiento hacia adelante de la máquina.

Está diseñado para cortes poco profundos y transporte hasta 300 metros.

4.4.2 Las partes básicas de funcionamiento de una unidad de rascador son:

i) **Recipiente –** Es el componente de carga y transporte de un rascador y tiene un borde cortante que se extiende horizontalmente a lo largo de su borde inferior delantero. El recipiente se baja para cargar/descargar y se levanta durante el desplazamiento. La capacidad del recipiente (en metros cúbicos) se especifica para indicar el tamaño del rascador.

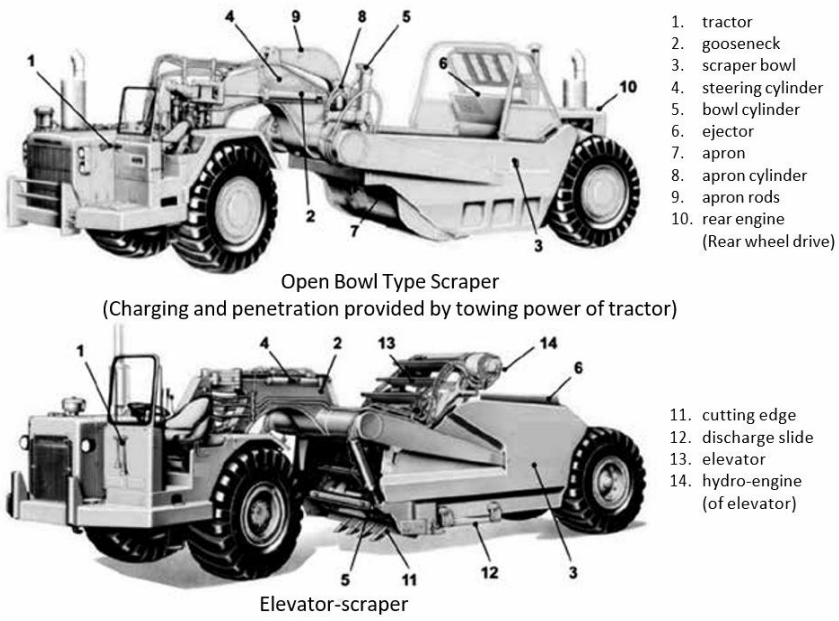


Figura 4: Rascador

Tractor, cuello de ganso, recipiente del rascador, cilindro de dirección, cilindro del recipiente, expulsor, faldón, cilindro del faldón, varillas del faldón, motor trasero (tracción trasera), borde cortante, compuerta de descarga, elevador, hidro motor (del elevador).

ii) **Faldón** – Es la pared frontal del recipiente y es independiente del recipiente. Se levanta durante las operaciones de carga y descarga para permitir que el material fluya hacia dentro o hacia fuera del recipiente. El faldón se baja durante el transporte para evitar derrames de material.

iii) **Expulsor o Puerta Trasera** – Es la pared vertical trasera del recipiente. Se encuentra en la posición trasera durante la carga y el transporte. Durante la descarga/esparcimiento, se activa para desplazarse hacia adelante, proporcionando así una descarga positiva del material en el recipiente.

Cada uno de los componentes del rascador mencionados anteriormente se controla hidráulicamente. La **Figura 5** ilustra el funcionamiento de un rascador típico.

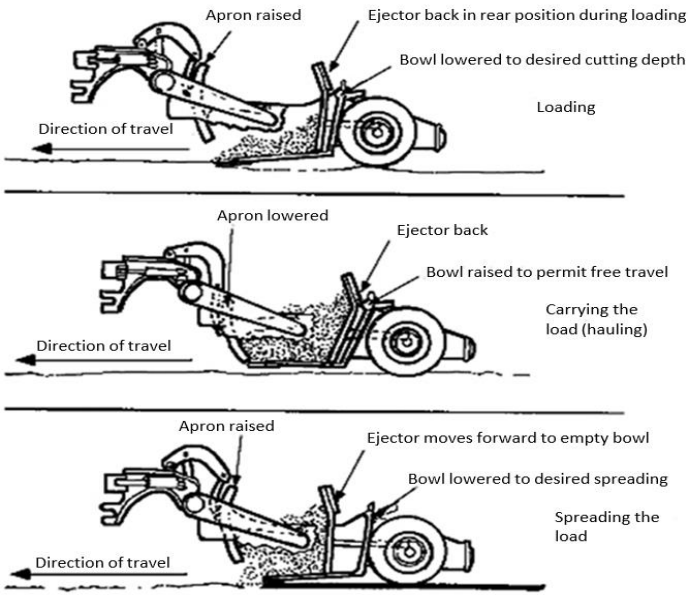


Figure 5: Operación del Rascador

Faldón levantado, Expulsor en posición trasera durante la carga, Recipiente bajado a la profundidad de corte deseada, Dirección del desplazamiento, Carga, Faldón bajado, El expulsor se mueve hacia adelante para vaciar el recipiente, Recipiente bajado para esparcir, Esparciendo la carga, Dirección del desplazamiento.

4.4.3 *Según el tipo de carga, el rascador puede clasificarse como:*

i) **Rascador Tipo Recipiente Abierto –** Requiere la aplicación de esfuerzo de tracción para cargar material en el recipiente. Este esfuerzo de tracción puede ser desarrollado por el propio tractor-rascador, por otro tractor-rascador conectado temporal o permanentemente, o por un tractor empujador.

ii) **Rascador Elevador** – Es una máquina de carga y transporte completamente autónoma y está equipada con un mecanismo motorizado (elevador) fijo al recipiente del rascador para ayudar en la carga.

4.5 Carga Frontal

4.5.1 La cargadora frontal **(Figura 6)** es una máquina autopropulsada de orugas o ruedas, con equipo montado en la parte delantera diseñado principalmente para operaciones de carga (uso de cubo), que carga o excava mediante el movimiento hacia adelante de la máquina. Un ciclo de trabajo típico de una cargadora incluye llenado, elevación, transporte y descarga del material.

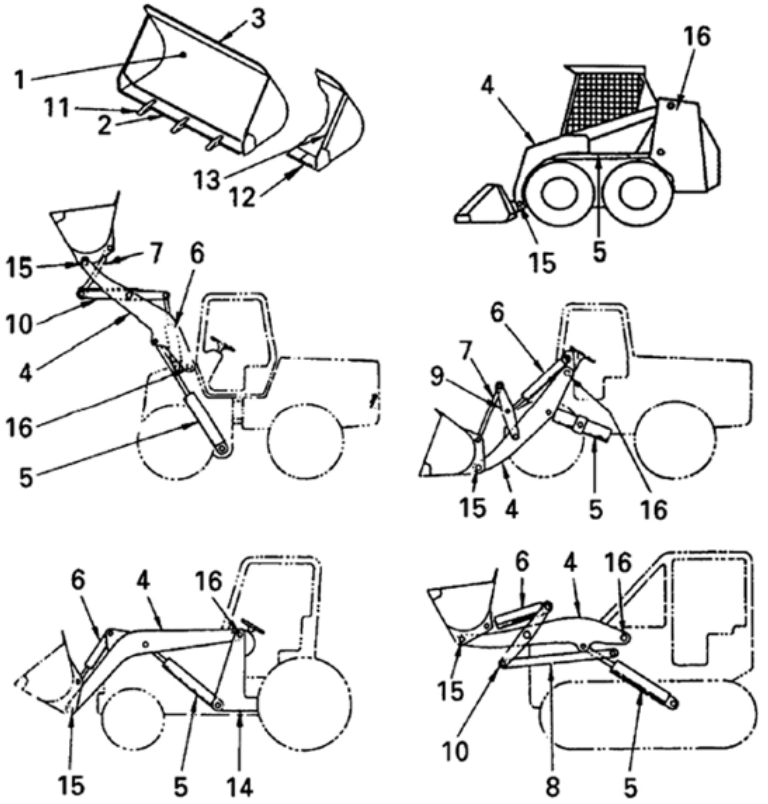
4.5.2 Un cargador frontal cumple las siguientes funciones:

i) Manipular y transportar materiales a granel (por ejemplo, tierra, rocas, etc.).

ii) Cargar camiones volquete

iii) Cargar silos de áridos en plantas de asfalto y concreto.

iv) Excavación



1	Bucket	9	Lever, bucket
2	Cutting edge	10	Bell crank
3	Spill guard	11	Tooth, bucket
4	Lift arm	12	Cutter, corner
5	Cylinder, lift	13	Cutter, side
6	Cylinder, bucket	14	Frame, loader (where separate from machine main frame)
7	Link, bucket	15	Pin, bucket hinge
8	Link, guide	16	Pin, lift arm hinge

NOTA- "Frente" o "trasero" a ser usado cuando aplicable a elementos 7, 8, 9 y 10.

Figure 6: Cargador Frontal

1.Balde, 2. Corte borde, 3. Protector contra derrames, 4. Elevar brazo, 5. Cilindro elevar, 6. Cilindro balde, 7. Enlace balde, 8. Enlace guía, 9. Palanca balde, 10. Manivela, 11. Diente cubo, 12. Cortador esquina, 13. Cortador lado, 14. Marco cargador, 15. Alfiler balde bisagra, 16. Alfiler elevar brazo bisagra

4.5.3 Un cargador frontal puede estar equipado con los siguientes accesorios (operados mediante un sistema hidráulico):

i) **Cubo de uso general -** Es un cubo de una sola pieza equipado con un borde cortante reemplazable con o sin dientes (reemplazables) atornillados al borde cortante.

ii) **Cubo de servicio pesado (roca) -** Es un cubo de una sola pieza equipado con un borde cortante en forma de V que sobresale para levantar y aflojar rocas.

iii) **Cubo de descarga lateral -** Un cubo que carga mediante el movimiento hacia adelante de la máquina y puede descargar hacia un lado desde un extremo del cubo; también puede descargar hacia adelante. Permite versatilidad para trabajar en áreas confinadas.

iv) **Cubo multipropósito** - Un cubo de dos piezas con una pala tipo bulldozer con bisagras en la parte superior para soportar una pinza que puede abrirse en diversas posiciones para su uso como bulldozer, raspador, pinza o cubo.

v) **Escarificador -** Un mecanismo con dientes para penetrar y aflojar a poca profundidad materiales como tierra, caminos bituminosos y de grava, y superficies similares. Por lo general, se monta en la parte trasera del cargador, pero también se puede montar en la parte trasera del cubo.

vi) **Horquilla -** estructura que tiene puntas para levantar, transportar y descargar material.

vii) **Garra -** Un mecanismo con puntas y una abrazadera superior para levantar, transportar y descargar material (por ejemplo, troncos).

viii) **Malacate -** Un marco equipado con un tambor y conectado a la parte trasera de la máquina base. Las aplicaciones incluyen la desratización de árboles, el deslizamiento de rocas o materiales pesados, la recuperación general o de equipos, etc.

ix) **Accesorios especializados -** Hay accesorios disponibles para trabajos especializados según los requisitos del trabajo (por ejemplo, escoba barredora,

4.5.4 Los parámetros clave de rendimiento para evaluar a un cargador frontal son:

i) Potencia neta del motor (según la norma IS:13116).

ii) **Carga de vuelco en el alcance máximo:** Es la masa mínima, en kilogramos, que, cuando se coloca en el cubo del cargador o en la horquilla en la posición de brazo de momento máximo, hará que el cargador alcance la condición de límite de vuelco en su configuración menos estable, con el cargador colocado sobre una superficie dura y nivelada y la fuerza resultante actuando verticalmente a través del centroide del volumen del cubo calificado (ISO 7546) o el centro de carga de la horquilla (ISO:14397 Parte I).

iii) Carga de operación nominal.

iv) **Fuerza de desprendimiento:** Es la máxima fuerza vertical sostenida hacia arriba generada en un punto 100 mm detrás del labio del cubo, al operar los cilindros de elevación o los cilindros de inclinación, y con la parte inferior del borde cortante paralela y 20 mm por encima del Plano de Referencia del Suelo (PRS). Para cubos con un borde cortante curvo o puntiagudo, las fuerzas se medirán en el centro del ancho del cubo.

v) **Tiempo de elevación**: Es el tiempo necesario para elevar el cubo con la carga de operación especificada desde una posición de descanso sobre el Plano de Referencia del Suelo (PRS), completamente inclinado hacia atrás hasta la altura total.

vi) **Tiempo de descenso**: Es el tiempo necesario para bajar el cubo vacío desde la altura total hasta la posición con la parte inferior del cubo apoyada en el Plano de Referencia del Suelo (PRS).

vii) **Tiempo de descarga**: Es el tiempo necesario para rotar el cubo desde la máxima inclinación hacia atrás - sin exceder el plano de impacto horizontal - posición completamente elevada hasta la posición completa de descarga mientras se descarga una carga de operación.

viii) **Velocidades máximas de desplazamiento:** Estas son las velocidades máximas que se pueden obtener en una superficie dura y nivelada en cada una de las relaciones de marcha adelante y marcha atrás con el cubo vacío.

ix) Rendimiento de frenado (cargador de ruedas) (ISO 3450).

4.6 Retroexcavadora Cargadora

4.6.1 La retroexcavadora (Figura 7) es una maquina autopropulsada sobre orugas o ruedas con un marco principal diseñado para llevar tanto equipos montados en la parte frontal (con accesorios de cargador) como equipos montados en la parte trasera (con accesorio de retroexcavadora), normalmente con estabilizadores o patas de apoyo. Cuando se utiliza en modo de retroexcavadora, la máquina está estacionaria y normalmente excava por debajo del nivel del suelo. Cuando se utiliza en modo de cargador, la máquina carga mediante el movimiento hacia adelante.

Un ciclo de trabajo típico de retroexcavadora incluye la excavación, elevación, giro y descarga del material. Un ciclo de trabajo típico de cargador incluye llenar, elevar, transportar y descargar material.

Figure 7: Retroexcavadora Cargadora

i.6.2 La retroexcavadora cargadora es la pieza más común del equipo de construcción para cualquier proyecto de carretera. Es ideal para excavaciones ligeras, zanjas, rellenos, movimiento de materiales, trabajos ligeros de servicios subterráneos, limpieza de sitios, carga y otros trabajos diversos.

Además de utilizarse como una retroexcavadora o un cargador, esta máquina también puede adaptarse a diferentes accesorios y aditamentos para operaciones específicas, aumentando así su versatilidad en un sitio de trabajo. Algunos de los accesorios comunes son martillo hidráulico, cubo de zanjas, escoba, perforadora, horquilla para troncos, horquilla para palets, etc.

4.6.3 La capacidad del cubo del cargador de la retroexcavadora suele ser de alrededor de 1-1.2 metros cúbicos, mientras que la capacidad del cubo de la retroexcavadora es de aproximadamente 0.18-0.3 metros cúbicos.

4.7 Trituradora

4.7.1 Una trituradora es una máquina diseñada para reducir rocas de gran tamaño a agregados de menor tamaño, grava o polvo de piedra.

4.7.2 Las trituradoras utilizan uno o una combinación de los siguientes cuatro mecanismos para la reducción de tamaño: impacto, atrición, corte y compresión.

4.7.3 La operación de trituración generalmente se lleva a cabo en múltiples etapas a través de una reducción progresiva. Esto se debe a que la cantidad de reducción de tamaño lograda está directamente relacionada con la energía aplicada. Cuando hay una diferencia significativa entre el tamaño de alimentación y el tamaño final deseado del producto triturado, se requiere una gran cantidad de energía. Proporcionar esta energía en un proceso de un solo paso generará exceso de finos, lo que conduce a desperdicios. Por lo tanto, el grado de trituración se distribuye en tres o cuatro etapas como medio de controlar de cerca el tamaño del producto.

Las Figuras 8 y 9 ilustran las etapas básicas de la actividad de trituración. La operación de trituración comienza con una trituradora primaria (trituradora de mandíbula). Las rocas extraídas de la mina (ROM, por sus siglas en inglés) que llegan en camiones volquete alimentan una tolva de descarga. Un alimentador grizzly ubicado debajo de la tolva de descarga extrae el material ROM a una velocidad controlada para alimentar la trituradora de mandíbula. También evita que el material de gran tamaño entre en la trituradora y bloquee su abertura. La trituradora de mandíbula produce la primera reducción en el tamaño de la piedra, y su salida se alimenta a una trituradora secundaria (trituradora de cono). La trituradora de cono se opera principalmente con un ajuste de lado cerrado (CSS, por sus siglas en inglés) de 25 mm para producir un producto de (-) 55 mm. Dado que el requisito del producto es (-) 40 mm para proyectos de carreteras, el producto de (+) 40 mm se recircula a la trituradora de cono. Se puede utilizar una trituradora de cono terciaria para lograr una mayor reducción de tamaño en el caso de una planta de trituración de cuatro etapas. Sin embargo, el producto de la trituradora de cono puede no tener forma cúbica. Para obtener agregados cúbicos y mantener el índice combinado de aplanamiento y alargamiento dentro del 30% según las especificaciones, se requiere un impacto de eje vertical (VSI, por sus siglas en inglés).

Se utilizan plataformas de cribado entre las etapas de trituración para separar los agregados en diferentes tamaños según las especificaciones.

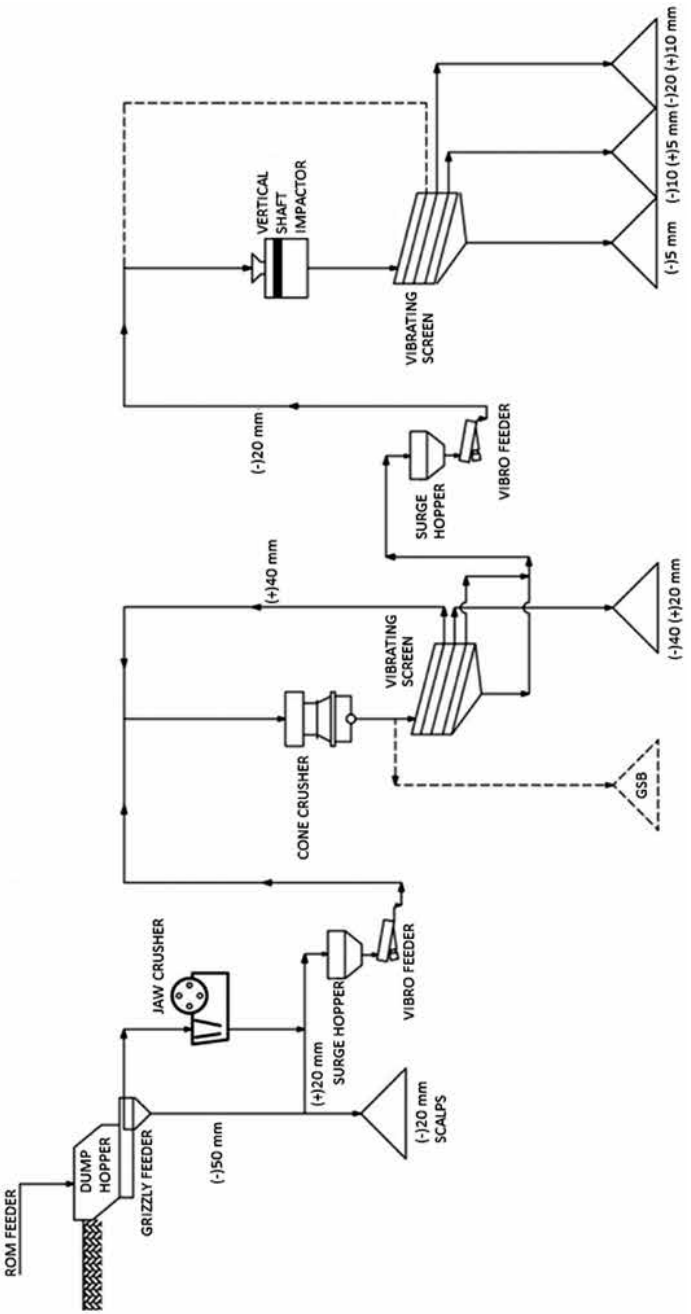


Figura 8: Planta de Trituración de Tres Etapas (Capacidad de 200/300 TPH)

Alimentador de tolva, tolva de descarga, alimentador grizzli, trituradora de mandíbula, pantalla vibratoria, pila de almacenamiento, alimentador vibratorio, tolva de sobrepresión, alimentador vibratorio, trituradora de cono

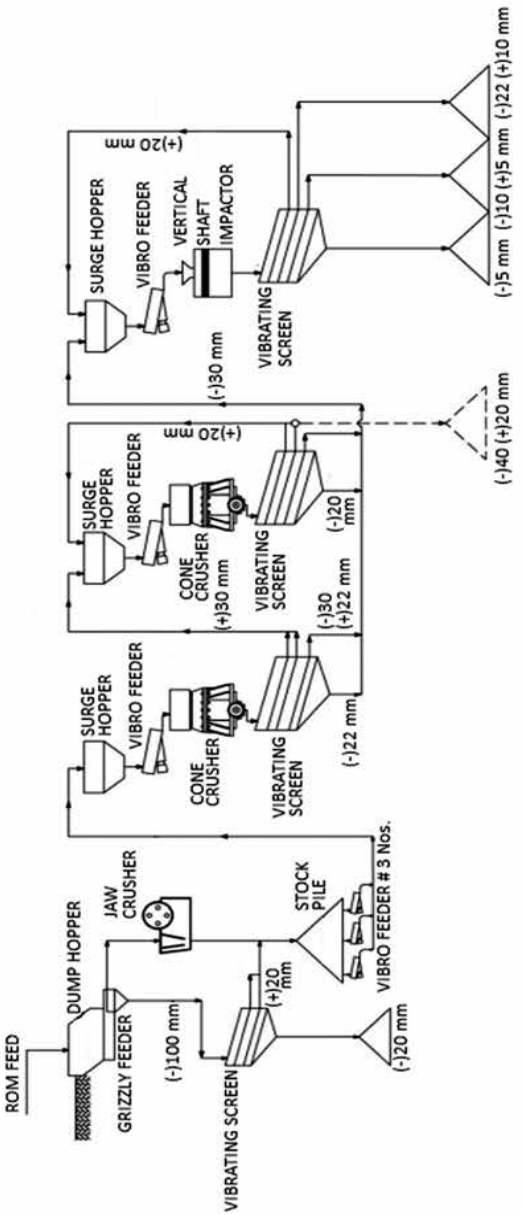


Figure 9: Planta de Trituración de Cuatro Etapas (Capacidad de 450 TPH)

a) Rom feed: alimentación de rocas b) dump hopper: tolva de descarga c) grizzly feeder: alimentador grizzli d) jaw crusher: trituradora de mandíbulas e) vibrating screen: pantalla vibratoria f) vibro feeder: alimentador vibratorio g) stock pile: pila de almacenamiento h) surge hopper: tolva de sobrecarga i) cone crusher: trituradora de cono j) vertical shaft impactor: impactador de eje vertical

4.7.4 Trituradora de mandíbulas (Figures 10 and 11): Se utiliza como trituradora primaria. Se selecciona en función del tamaño máximo de los fragmentos y la capacidad de la planta.

La trituradora de mandíbulas contiene dos superficies rectangulares, una de las cuales se acerca y se aleja alternativamente de la otra. Las mandíbulas forman un ángulo y, junto con dos placas laterales, encierran una cavidad en forma de cuña que es más ancha en el extremo superior o de alimentación. El material alimentado en el extremo superior se tritura principalmente por compresión entre las dos mandíbulas y se descarga a través de la salida inferior. La dimensión máxima de la abertura de alimentación (gálibo) y el tamaño del producto se determinan por el ancho de la apertura de descarga cuando la mandíbula se ha retraído por completo (ajuste del lado abierto).

La mandíbula móvil puede ser accionada por uno de los dos mecanismos principales: 'de un solo movimiento' o 'de doble movimiento.

El tamaño de una trituradora de mandíbulas se indica por el ancho de la mandíbula y el ancho de la abertura de carga, expresado en milímetros.

Para obtener más información sobre la trituradora de mandíbulas, consulte la norma IS:4254.

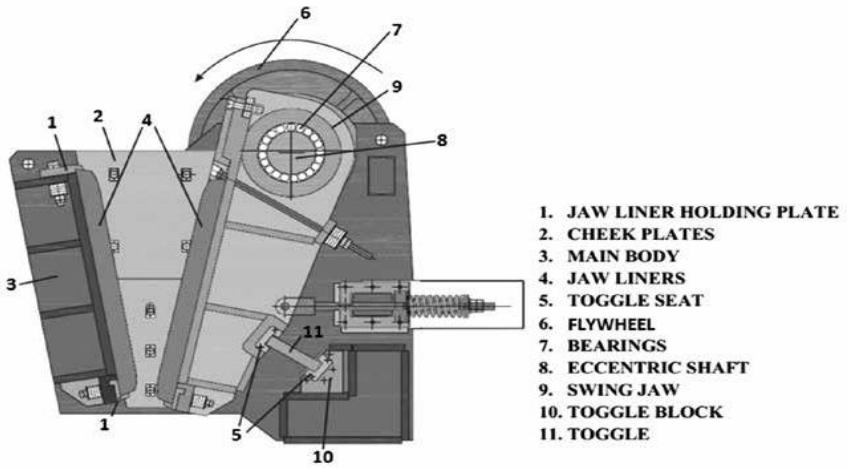


Figure 10: Trituradora de mandíbulas (Tipo de Palanca única)

1)Placa de sujeción del revestimiento de la mandíbula 2) Placas de mejilla 3) Cuerpo principal. 4)Revestimientos de la mandíbula 5) Asiento de la palanca 6) Volante 7) Rodamientos 8) Eje excéntrico 9) Mandíbula oscilante 10) Bloque de palanca 11) Palanca

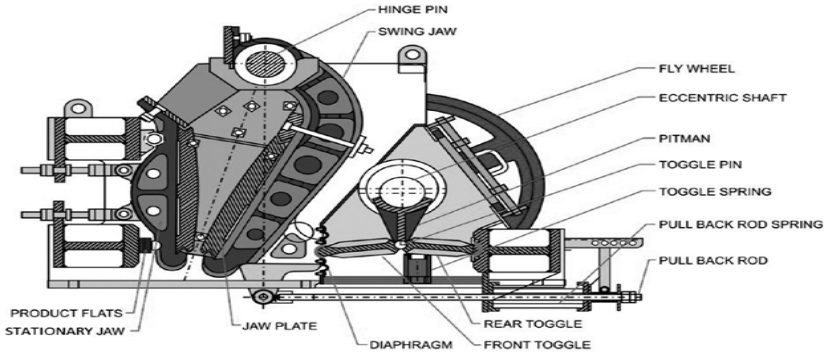


Figure 11: Trituradora de Mandíbulas (Tipo de Doble Palanca)

a)Hinge Pin: Pasador de Bisagra, b)Swing Jaw: Mandíbula Oscilante, c)Fly Wheel: Volante, d)Eccentric Shaft: Eje excéntrico, e)Pitman: pitman, f)Toggle Pin: Pasador de Palanca, g)Toggle Spring: Resorte de Palanca, h)Pull Black Rod Spring: Resorte de varilla de retroceso, i)Pull Black Road: Varilla de retroceso, j)Product Flats: Superficies del producto, k)Stationary Jaw: Mandíbula de estacionaria, l)Jaw Plate: Placa de mandíbula, m)Diaphgram: Diafragma n)Rear Toggle: Palanca trasera, o)Front Toggle: Palanca Delantera.

4.7.5 Trituradora de Cono (Figure 12): Se utiliza para trituración secundaria y terciaria. La mitad superior de una trituradora de cono consiste en una cámara cónica de trituración revestida con placas de acero al manganeso llamadas cóncavos, dentro de las cuales se mueve una cabeza de trituración cónica en posición vertical con un movimiento excéntrico. La cabeza de trituración está montada en un eje de acero vertical y suspendida desde el armazón en la parte superior. La mitad inferior de la trituradora consiste en soporte para el eje y engranajes de transmisión. La rotación excéntrica del eje provoca que la cabeza de trituración gire dentro de la cámara de trituración, variando así el espacio entre los cóncavos y la cabeza, y triturando las piedras por abrasión y compresión.

Dependiendo del tipo de cono y su recorrido, la trituradora de cono puede clasificarse como:

i) Tipo de Cono Estándar: Es adecuado para su uso como trituradora secundaria. Tiene una cámara de trituración inclinada fuertemente con un ángulo de cono bajo y una cabeza de trituración cónica menos inclinada y más plana. Tiene una cavidad de trituración más ancha y larga para acomodar material de alimentación de mayor tamaño.

ii) Tipo de Cono de Cabeza Corta: Es adecuado para su uso como trituradora terciaria o trituradora de cono fina. Tiene una cabeza de trituración más corta y un recorrido más pequeño.

Tanto la cámara de trituración como la cabeza de trituración tienen una inclinación pronunciada para promover el flujo gravitacional de material más fino, lo que resulta en una cavidad de trituración más corta y paralela en comparación con el tipo de cono estándar.

El tamaño de una trituradora de cono se indica por el diámetro del anillo de descarga.

Para obtener más información sobre la Trituradora de Cono, consulta IS:4255.

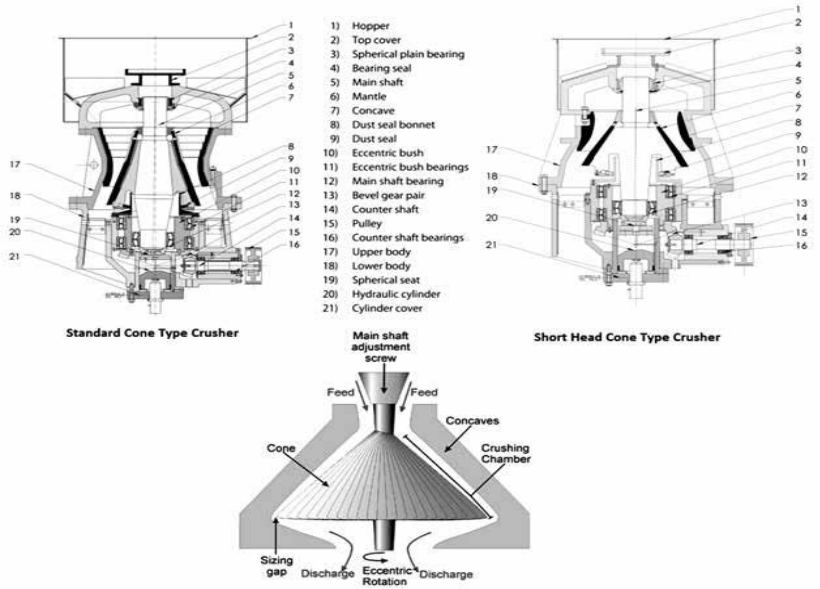


Figure 12: Trituradora de Cono

1)Tolva, 2) Tapa superior, 3) Cojinete esférico, 4) Sello de rodamiento, 5) Eje principal, 6) Manto, 7) Cóncavo, 8) Tapa del sello contra el polvo, 9) Sello contra el polvo, 10) Casquillo excéntrico, 11) Rodamientos de casquillo excéntrico, 12) Rodamiento del eje principal, 13) Par de engranajes cónicos, 14) Eje de contra eje, 15) Polea, 16) Rodamientos de contra eje, 17) Cuerpo superior, 18) Cuerpo inferior, 19) Asiento esférico, 20) Cilindro hidráulico, 21) Tapa del cilindro

4.7.6 Impactador de Eje Vertical (VSI) (Figure 13): Consiste en un impulsor/rotor de tipo abierto o cerrado equipado con puertos de puntas de carburo especialmente desarrollados. Este impulsor está montado en un conjunto de eje vertical, con un arreglo de rodamientos especiales adecuados para altas velocidades. Se dispone un anillo exterior con yunques o cámara de trituración de tipo roca-contra-roca alrededor del impulsor. La transmisión al conjunto del eje se realiza a través de correas en V con un sistema de tensado de correas. Se proporciona un elevador hidráulico de tapa para acceder fácil y rápidamente a las partes principales.

El material de alimentación ingresa a través de la tolva de alimentación y luego pasa por el tubo de alimentación hacia el cono de alimentación en el centro del impulsor, que está girando a alta velocidad. Las partículas de material que entran en el impulsor adquieren energía cinética y salen del impulsor hacia la cámara de trituración con la fuerza centrífuga requerida (es decir, alta velocidad tangencial) e impactan contra los yunques estacionarios o la caja de rocas. Estas partículas se fracturan en sus propias líneas de falla naturales y superficies de juntas, y los extremos escamosos de las partículas se cortan para formar una forma cúbica. Una vez que las partículas han perdido su energía cinética, caen fuera de la cámara de trituración, generalmente sobre una cinta transportadora en la parte inferior de la trituradora.

En lugar de enviar todo el material de alimentación al rotor, una porción del material de alimentación puede ser cascada en cantidad controlada dentro de la turbulencia de la cámara de trituración para aumentar la población de partículas dentro de la misma, mejorando así la transferencia de energía y la reacción en cadena de trituración y molienda tipo roca-contra-roca.

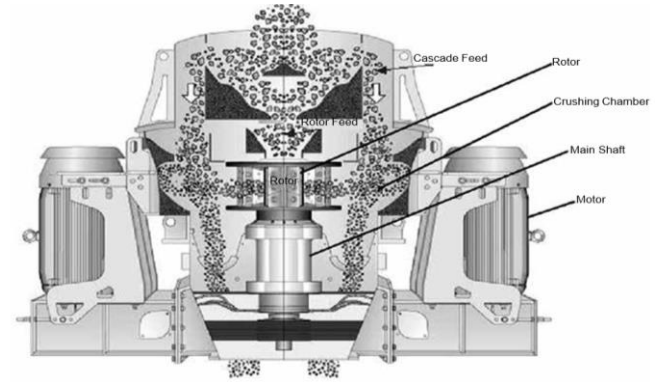


Figure 13: Impactador de eje vertical

a) Rotor: rotor, b) Rotor feed: Alimentación del rotor, c) Cascada Feed: Alimentación en cascada d) Cushing Chamber: Cámara de trituración, e) Main Shaft: Eje principal, f) Motor: Motor

4.7.7 El rendimiento de una trituradora se indica por su producción/capacidad (en TPH, toneladas por hora). La capacidad variará según el tipo de piedra/roca, tamaño de alimentación, tamaño del producto final y la uniformidad con la que se alimenta la piedra en la trituradora.

4.7.8 Por lo general, se prefieren plantas de trituración con capacidades que van desde 200 hasta 450 TPH en el sector vial para el procesamiento de agregados.

El periodo de ejecución para la mayoría de los proyectos de carreteras en un tramo particular suele ser de dos a tres años y, después de eso, la maquinaria de infraestructura debe trasladarse a una nueva ubicación. Por lo tanto, las estaciones de trituración montadas sobre orugas **(Figura 14)** son preferidas en estos días debido a las siguientes ventajas:

i) Se ensamblan completamente en taller sin necesidad de actividad relacionada con el sitio para la erección.
ii) No requieren ningún tipo de trabajos de RCC (por ejemplo, muros de contención, trabajos de cimentación, etc.).
iii) Se pueden posicionar directamente en el sitio de trabajo y comenzar de inmediato.

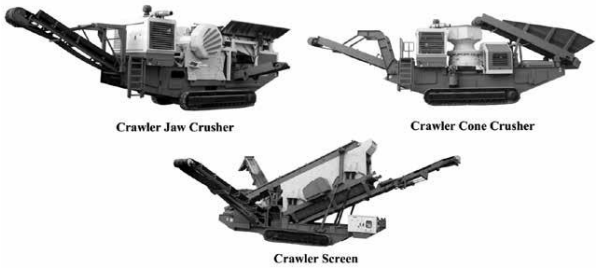


Figure 14: Estación de Trituración Montada sobre Cadenas

a) Crawler Jaw Crusher: Trituradora de Mandíbulas sobre Cadenas, b) Crawler Cone Crusher: Trituradora de cono sobre Cadenas, c) Crawler Screen: Pantalla sobre Cadenas.

4.7.9 Planta de Preparación de Arena (Arena Manufacturada) - La arena natural es un recurso escaso y su extracción de lechos de ríos puede generar consecuencias ambientales adversas. Por tanto, surge la necesidad de una fuente alternativa de arena. Además, la demanda de arena en el sector de construcción de carreteras y puentes ha aumentado, y no puede ser satisfecha con las operaciones estándar de plantas de trituración. Esto ha llevado a la introducción de un tipo especial de trituradoras de cono conocidas como "sanders" que operan a configuraciones más bajas para maximizar la producción de arena manufacturada (M-sand). Este equipo se añade al circuito estándar de trituración donde parte de los productos de mayor tamaño pueden convertirse en arena.

4.7.10 Clasificador de Arena - El propósito de un clasificador de arena es mejorar la calidad de la arena eliminando materiales no deseados como limo, arcilla, suciedad, etc., y reducir el porcentaje de partículas ultrafinas (tamaño −150 μ) en la arena hasta límites permitidos según las especificaciones. Esto, a su vez, optimizará el consumo de betún/cemento en la construcción de carreteras/puentes.

La clasificación de arena se puede realizar mediante un proceso húmedo o seco. En el proceso seco, se utiliza aire como medio para separar partículas finas y gruesas, mientras que, en el proceso húmedo, se emplea agua como medio separador.

i) **Clasificador seco (Figure 15)** – Consiste en dos cilindros coaxiales que funcionan como un cono externo y un cono interno. El ventilador de circulación genera un flujo de aire centrífugo que asciende dentro del cilindro interno y luego desciende en la zona intermedia entre los dos cilindros. En las paletas de retorno, el flujo de aire vuelve al cilindro central. Las partículas de arena se alimentan en el centro del clasificador, donde son dispersadas por un distribuidor giratorio y luego encuentran el flujo de aire centrífugo ascendente. El vórtice de aire separa las partículas más finas y más gruesas: las partículas más finas se elevarán con el flujo de aire y pasarán a través del ventilador de circulación, mientras que las partículas más gruesas serán empujadas hacia afuera, debido a una mayor fuerza centrífuga, contra la pared circundante (del cilindro interno) y caerán hacia abajo en un canal y se almacenarán en el suelo a través de una cinta transportadora. A medida que los finos descienden con el flujo de aire hacia las paletas de retorno, pierden impulso y continúan hacia abajo mientras el flujo de aire se dirige hacia el centro del clasificador. Estos finos son descargados desde la parte inferior del clasificador hacia una cinta transportadora y transferidos a un tanque cerrado.

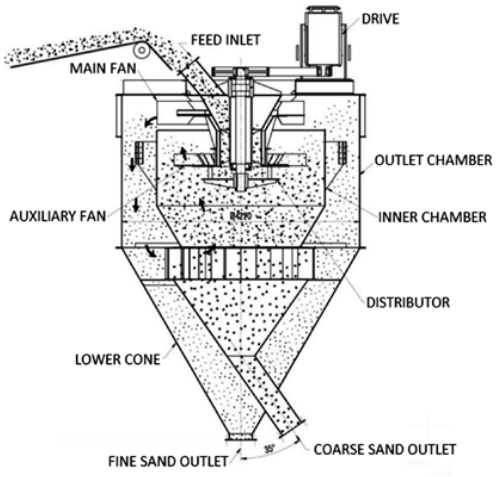


Figure 15: Clasificador seco

1. conducir, 2. entrada de alimentación, 3. ventilador principal, 4. ventilador auxiliar, 5. cono inferior, 6. salida de arena fina, 7. salida de arena gruesa, 8. Distribuidor, 9. cámara interior, 10. cámara de salida

ii) **Clasificador Húmedo** – Se utilizan comúnmente dos tipos de clasificadores húmedos: la lavadora de arena de hidrociclón y la lavadora de arena de rueda de cangilones.

a) **Lavadora de Arena de Hidrociclón (Figura 16)**– Consiste en un tanque de lechada, un hidrociclón y una pantalla de deshidratación. La arena se alimenta a través de una cinta transportadora hacia el conducto de alimentación. Luego pasa por el cajón de alimentación, donde se agrega agua. La lechada se introduce en la primera mitad de la pantalla de deshidratación, que separa partículas de arena más gruesas [(−)5 (+)2.36 mm] y arena más fina [(−)2.36 mm] junto con agua, que se descarga en el tanque de lechada debajo de la pantalla y, posteriormente, se bombea al hidrociclón. La lechada de alimentación entra tangencialmente al hidrociclón bajo presión a través de la tubería de alimentación hacia la parte superior de la sección cilíndrica del ciclón. Luego sigue un camino de circulación con alta velocidad dentro del ciclón, lo que provoca fuerzas centrífugas que aceleran el movimiento de las partículas hacia la pared exterior. Las partículas migran hacia abajo en un patrón espiral a través de la sección cilíndrica y hacia la sección cónica. En este punto, las partículas de menor masa migran hacia el centro y ascienden en espiral hacia afuera a través del recolector de vórtice, descargándose a través de la tubería de rebosamiento. Este producto, que contiene las partículas más finas y la mayor parte del agua,

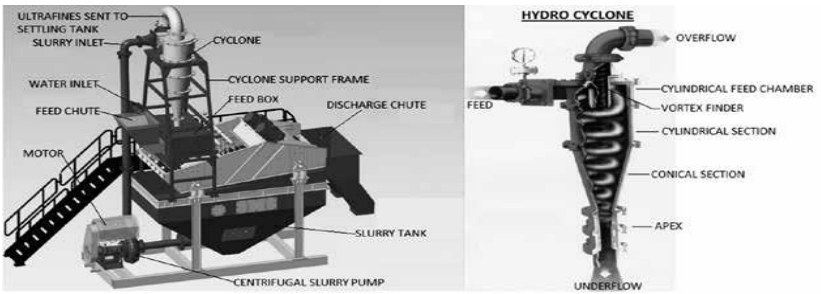


Figure 16: Lavadora de Arena de Hidrociclón

1. ultrafinos enviados al tanque de sedimentación, 2. entrada de lodo, 3. entrada de agua, 4. tolva de alimentación, 5. Motor, 6. bomba de lodo centrífuga, 7. tanque de lodo, 8. canal de descarga, 9. caja de alimentación, 10. marco de soporte de ciclón, 11. Ciclón, hidrociclón, 12. Desbordamiento, 13. cámara de alimentación cilíndrica, 14. buscador de vórtices, 15. sección cilíndrica, 16. Apéndice, 17. desbordamiento

denominada rebosamiento y se envía a un estanque de sedimentación de lechada. Las partículas de mayor masa (es decir, las más gruesas) permanecen en una trayectoria espiral descendente a lo largo de las paredes de la sección cónica y salen gradualmente a través del orificio del ápice. Este producto se denomina el flujo inferior y se descarga en la segunda mitad de la pantalla de deshidratación para reducir el porcentaje de humedad.

Existen varios factores que gobiernan el rendimiento del hidrociclón: diámetro del ciclón, área de la boquilla de entrada, diferencia entre la presión en la entrada y la salida, cantidad de partículas versus agua, tamaño y forma de las partículas, etc.

b) **Lavadora de Arena de Rueda de Cangilones (Figura 17)** – Requiere baja potencia de accionamiento y consta de un depósito/canal fabricado equipado con un tornillo helicoidal y una rueda de cangilones (con cangilones perforados para drenar agua).

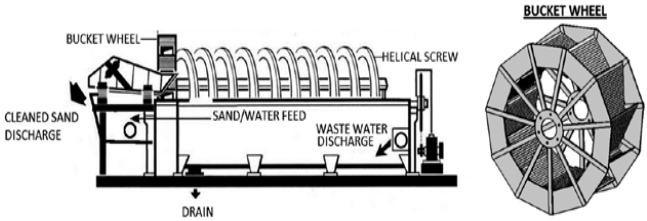


Figure 17: Lavadora de Arena de Rueda de Cangilones

1. pozo de cubo, 2. descarga de arena limpia, 3. alimentación de arena/agua, 4. descarga de aguas residuales, 5. tornillo helicoidal, 6. rueda de cubo

La arena y una cantidad suficiente de agua ingresan al canal en una sección no turbulenta en la rueda de cangilones. La arena se asienta en el fondo del canal, y se utiliza el principio de decantación con un flujo de baja turbulencia: el tornillo gira lentamente y de manera continua, moviendo la arena hacia arriba en una pendiente hacia la rueda de cangilones giratoria en dirección opuesta al flujo de agua. Durante esta acción, el contenido de limo/arcilla/suciedad en la arena se disuelve en el agua y es arrastrado por el flujo cruzado. Para evitar la saturación de limo/arcilla/suciedad, se mantiene un suministro continuo de agua dependiendo del contenido de limo/arcilla/suciedad en la arena.

Del agua fluye sobre un vertedero en el extremo opuesto de la rueda de cangilones. La arena limpia, separada en

la parte superior del canal, es recogida por la rueda de cangilones deshidratadora giratoria y luego descargada en un canal de salida o una pantalla de deshidratación para obtener un producto lavado en la salida.

La producción del clasificador de rueda de cangilones puede ajustarse con los siguientes factores: velocidad del tornillo, cantidad de agua y la inclinación del canal.

4.8 Camión Volquete

4.8.1 Los camiones volquete (**Figuras 18, 19 y 20**) se utilizan para el transporte de material excavado, agregados procesados y material de construcción.

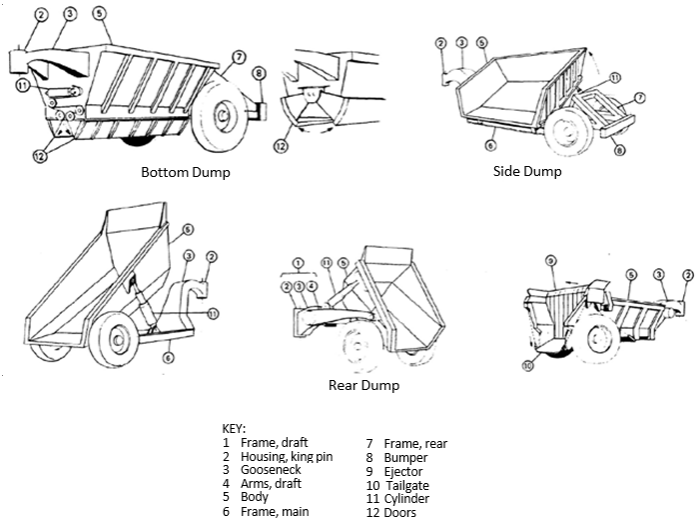


Figure 18: Tipos de camiones volquete según el método de descarga de la carga

1. borrador del marco, 2. perno rey de la carcasa, 3. cuello de cisne, 4. proyecto de armas, 5. Cuerpo, 6. marco principal, 7. marco trasero, 8. Para choque, 9. Eyector, 10. Portón, 11. Cilindro, 12. puertas

Figure 19: Camión volquete rígido

Figure 20: Camión volquete articulado

El uso de camiones como unidad principal de transporte proporciona un alto grado de flexibilidad, ya que generalmente se puede aumentar o disminuir fácilmente el número en servicio para permitir modificaciones en la capacidad total de transporte de una flota.

Los camiones volquete, que varían en tamaño desde 5 m^3 hasta 14 m^3, suelen ser los preferidos para trabajos de construcción de carreteras. También se encuentran disponibles camiones volquete con capacidad de 18 m^3 y son adecuados para obras de grandes puentes o túneles.

4.8.2 La clasificación de los camiones volquete se indica en la **Tabla 6**.

Tabla 6: Clasificación de los camiones volquetes

Sl. No.	Bases/Criterio	Clasificación
1.	Método de descarga de la carga	a) Bomba trasera b) Descarga inferior Descarga lateral
2.	Tipo de tramo	a) Estructura rigida Articulado

4.8.3 Se ilustran las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de camiones volquete en las **Tablas 7, 8, 9, 10, 11**.

Tabla 7: Ventajas y desventajas del camión volquete de descarga trasera

Ventajas	Desventajas
1. Puede soportar alto impacto durante la carga. 2. Versatilidad -- puede manejar una variedad de materiales. 3. Buena capacidad de subida debido a una relación favorable entre kilovatios y peso. 4. Buena tracción debido a una distribución de peso favorable. 5. Buen rendimiento en condiciones desfavorables de la carretera. Bueno para descargar en tolvas o rellenos restringidos.	1. Se requiere un tiempo considerable para descargar la carga, ya que el camión debe detenerse, retroceder y luego descargar su carga.

Tabla 8: Ventajas y Desventajas del Camión Volquete de Descarga Inferior

Ventajas	Desventajas
1. Bueno para transportes de larga distancia y alta velocidad. 2. Relación favorable entre la carga útil nominal y el peso bruto del vehículo (GVW, por sus siglas en inglés). 3. Adecuado para descargar la carga en hileras.	1. El material debe tener fluidez. No es adecuado para impactos de carga severos.

Tabla 9: Ventajas y desventajas del camión volquete de descarga lateral

Ventajas	Desventajas
1. Adecuado para descargar carga a lo largo de tramos estrechos o en uno o ambos lados de una carretera (bordes de carretera) 2. Menos tiempo necesario para el vertido carga	1. Versatilidad limitada

Tabla 10: Ventajas y desventajas del camión volquete rígido

Ventajas	Desventajas
1. Generalmente una velocidad máxima más alta, especialmente en caminos de acarreo de buena calidad. 2. Larga vida económica bajo condiciones moderadas	1. No apto para continua operación en condiciones difíciles 2. No apto para pendientes pronunciadas 3. Cargas útiles restringidas

Tabla 11: Ventajas y desventajas del camión volquete articulado

Ventajas	Desventajas
1. Capacidad para hacer frente a pendientes más pronunciadas Grados y terreno difícil condiciones 3. Alta maniobrabilidad gracias a articulación	1. Las velocidades máximas son generalmente más bajas 2. Más caro que el camión rígido.

4.9 Carretilla

4.9.1 La carretilla (Figura 21) es adecuada para recorridos muy cortos. Puede ser operado manualmente o accionado (eléctrico). Las carretillas manuales suelen tener una o dos ruedas.

Manually Operated Wheel Barrow Electric Wheel Barrow

Figure 21: Carretilla

1. rueda operada manualmente, 2. rueda eléctrica

4.9.2 Las carretillas de acero con una sola rueda deberán tener las siguientes capacidades nominales según IS:2431: 60 litros, 85 litros.

Las carretillas de acero con dos ruedas tendrán las siguientes capacidades nominales según IS:4184: 75 litros, 85 litros, 110 litros, 140 litros.

4.10 Planta de mezcla húmeda

4.10.1 Una planta mezcladora central utilizada para producir macadán de mezcla húmeda se llama Planta de Mezcla Húmeda (Figura 22). Tiene provisiones para:

i) Alimentación controlada de áridos de diferentes tamaños en la proporción requerida.

ii) Adición de una cantidad especificada de agua.

iii) de una cantidad específica de otros ingredientes como cal o cemento.

iv) Mezcla forzada/positiva de todos los ingredientes para producir una mezcla homogénea y consistente.

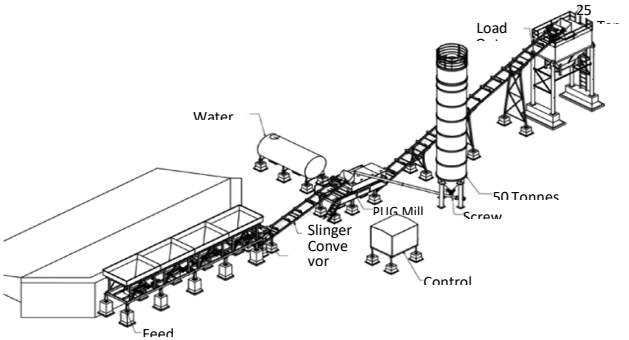


Figure 22: Diseño típico de una planta de mezcla húmeda de 200 TPH con silo de relleno

1. depósito de agua, 2. Alimentador, 3. Pantalla vibrante, 4. transportador de eslinga, 5. cabina de control, 6. Unidad de molino PUG, 7. tornillo transportador, 8. silo de 50 toneladas, 9. silo de 25 toneladas, 10. transportador de carga

4.10.2 También se puede utilizar una planta de mezcla húmeda con ligeras modificaciones y otros dispositivos opcionales para:

i) Producción de mezcla bituminosa en frío – adición de emulsión

ii) Cierto tipo de estabilización del suelo: adición de cemento o cal

iii) Cierto tipo de estabilización del suelo: adición de cemento o cal

4.10.3 La operación eficiente de la planta de mezcla húmeda comienza con el alimentador de agregado frío (que consta de cuatro o más contenedores). Las funciones del sistema de alimentación son proporcionar un flujo uniforme de agregados dosificados con precisión (que cumplan con los requisitos de gradación) y proporcionar capacidad de almacenamiento adicional entre los alimentadores y las reservas de agregados.
Sólo se deben alimentar agregados clasificados al sistema de alimentación. De lo contrario, se deben colocar rejillas de rejilla sobre los contenedores. El flujo de agregado se puede regular ajustando la apertura de la compuerta y/o la velocidad de la cinta del transportador auxiliar debajo de cada contenedor.
El transportador de recolección recolecta agregados de diferentes tamaños de los transportadores auxiliares instalados debajo de cada contenedor y los descarga en el transportador de eslinga a través de una criba de rechazo de gran tamaño.
Un sistema de pesaje electrónico continuo con celda de carga está montado en el transportador de eslinga para monitorear continuamente el peso total de los agregados que se alimentan al molino y sincronizarlo con la alimentación de agua y otros aditivos de relleno.
El molino de doble eje recibe los agregados del transportador de eslinga y la cantidad precisa y necesaria de agua del sistema de agua y los aditivos de relleno del sistema de alimentación de finos de relleno y, posteriormente, facilita la mezcla de acción forzada de los ingredientes de la mezcla para garantizar un flujo continuo de mezcla uniforme y homogénea. en su extremo de descarga.
La disposición de la tolva de pegotes en el extremo de descarga del molino de barro (o al final del transportador de carga) permite la descarga de la mezcla en el camión volquete sin ninguna segregación.

4.10.4 La capacidad de un molino de barro para lograr una mezcla homogénea y completamente recubierta en un número determinado de segundos está influenciada por muchas variables de diseño:

i) Forma, proporciones y volumen de Pug Mill
ii) Número, tamaño y velocidad periférica de la punta de la paleta
iii) Brazo de paleta y forma de la punta.
iv) Disposición de la paleta
v) Entrada de energía

Para tener una capacidad de producción constante, se sugiere un área frontal mínima de 230 cm2 para el tamaño de la punta de la paleta. Sin embargo, esto puede variar de un fabricante a otro.

El número de puntas de paleta proporcionadas debe ser suficiente para garantizar la consistencia de una mezcla homogénea. Basado en los datos disponibles para

varios fabricantes de renombre, se puede considerar la regla general de 1 punta de paleta por cada 4,6 TPH de capacidad de producción de la planta para calcular el requisito de puntas de paleta. Esto se da en la **Tabla 12.**

Table 12: Requisito de puntas de paleta para diversas capacidades de producción de plantas de mezcla húmeda

Capacidad de producción de la planta (TPH)	Número mínimo de puntas de remo
100	22
200	44
300	66

4.10.5 La **Tabla 13** enumera las recomendaciones sobre la frecuencia de calibración y la tolerancia máxima permitida que se deben seguir para varios componentes de una planta de mezcla húmeda para garantizar un rendimiento óptimo de la planta.

Table 13: Frecuencia recomendada de calibración y tolerancia permitida para una planta de mezcla húmeda

Sl. No.	Componente	Frecuencia recomendada de calibración	Tolerancia máxima permitida en la precisión del dispositivo de medición
1.	Celda de carga (transportador eslingador)	200 horas Laborales	± 4%
2.	Sistema de medición de agua	200 horas Laborales	± 2%
3.	Sistema de alimentación de finos de relleno	200 horas Laborales	± 3%

4.10.6 En la India se utilizan plantas de mezcla húmeda con capacidades que van desde 60 TPH a 300 TPH y, en consecuencia, se debe utilizar un grupo electrógeno con capacidad equivalente (que generalmente oscila entre 37,5 KVA y 150 KVA) para cumplir con los requisitos de energía.

4.10.7 Para obtener más información sobre la planta de mezcla húmeda, consulte IRC:126.

4.11 Equipos de estabilización de suelos

4.11.1 La estabilización del suelo mejora las propiedades del suelo mezclándolo con un agente aglutinante y agua, produciendo así material de construcción de alta calidad. El aglutinante puede ser cal, cemento, cenizas volantes o cualquier estabilizador químico especial orientado específicamente al suelo a tratar.

tratado. La elección del agente aglutinante depende del tipo y las condiciones del suelo.

La Estabilización de Suelos ofrece las siguientes ventajas:

i) Mejora de la resistencia y capacidad de carga del suelo
ii) Es más económico en términos de costo y energía aumentar la capacidad de carga del suelo que reemplazar el suelo existente.
iii) Mayor estabilidad del suelo en pendientes u otros lugares.
iv) Prevenir la erosión del suelo y la formación de polvo, que es muy
v) útil especialmente en clima seco y árido
vi) Impermeabilización del suelo (que evita que el agua entre en el suelo) y evita que el suelo pierda su fuerza.
vii) Reducir el cambio en el volumen del suelo debido al cambio en
viii) Temperatura o contenido de humedad
ix) Mejora de la trabajabilidad y durabilidad del suelo.

El suelo se puede estabilizar mediante el método Mix In Place o Plant Mix. El método Mix In Place suele ser más económico

4.11.2 Para la estabilización del suelo in situ **(Figura 23)** que muestra el tren de equipos típico involucrado), primero se esparce previamente el aglutinante mediante un esparcidor de aglutinante sobre el suelo a tratar. El esparcidor suele estar montado en un camión o en un tractor y debe estar equipado con un sistema de dosificación controlado electrónicamente para dosificar con precisión y distribuir uniformemente el aglomerante, independientemente de la velocidad de avance del esparcidor.

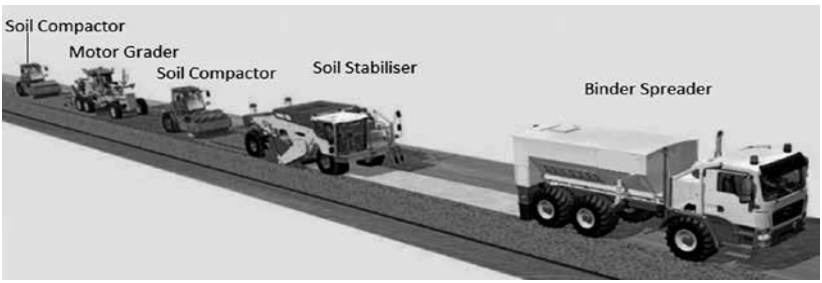


Figure 23: Tren de estabilización de suelos in situ

1. compactador de suelo, 2. Motoniveladora, 3. compactador de suelo, 4. estabilizador de suelo, 5. esparcidor de aglutinante

Al esparcidor le sigue un estabilizador de suelo móvil (Figura 24), que es un vehículo de construcción autopropulsado sobre cuatro ruedas (con potencia independiente de estas ruedas) y equipado con un caudal hidráulico adecuado.

Distribuidor para evitar el deslizamiento de las ruedas y garantizar la máxima estabilidad. El estabilizador tiene un tambor de molienda y mezcla motorizado con una serie de herramientas montadas en él en alineación espacial para moler el suelo existente y el aglutinante previamente esparcido y mezclarlos con agua para producir una mezcla de suelo homogénea. La cámara de mezcla debe tener un sistema de pulverización controlado por microprocesador para medir y controlar con precisión la cantidad de agua añadida.

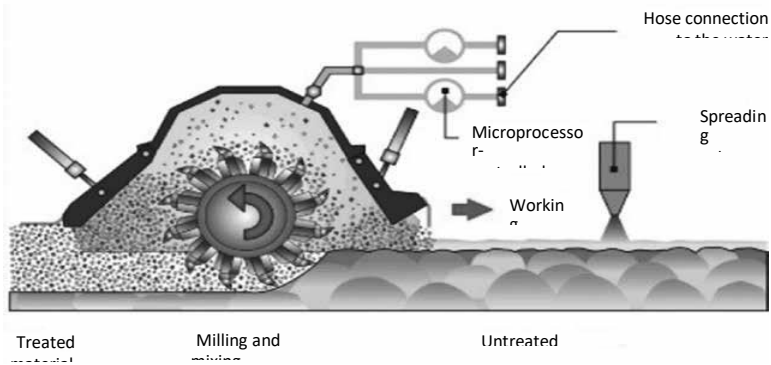


Figure 24: Estabilizador de suelo móvil (in situ)

1. materiales tratados, 2. tambor de fresado y mezcla, 3. materiales no tratados, 4. dirección de trabajo, 5. Bomba controlada por microprocesador para pulverización de agua, 6. esparcir cemento delante de la máquina, 7. conexión de manguera al tanque de agua

El estabilizador debe tener incorporado un motor de capacidad adecuada, preferiblemente con sistema de transmisión por correa para accionar el tambor triturador/pulverizador. En caso de que se utilice un sistema de transmisión por correa, debe tener un sistema tensor de correa automático.

El tambor de fresado y mezcla debe tener un ancho de trabajo mínimo de 2000 mm con disposiciones para control de profundidad variable y velocidad del tambor variable para cumplir con los requisitos del sitio. La profundidad de trabajo se puede variar bajando o subiendo el tambor completo y ajustando automáticamente el espacio de mezcla en respuesta a la profundidad de trabajo particular (es decir, mayor espacio de mezcla con mayor profundidad de trabajo). Se puede obtener una velocidad variable del tambor mediante una combinación de velocidades del motor seleccionables y disposiciones de polea de correa de transmisión ajustables para lograr resultados de trabajo óptimos.

El estabilizador móvil debe tener una cabina con aire acondicionado, Consola del operador para todos los controles y funciones de seguridad.

Además del tipo autopropulsado, también es posible utilizar un estabilizador impulsado por tractor con las características mencionadas.

El estabilizador es seguido por un compactador de suelo (generalmente de almohadillas) y luego una motoniveladora, y posteriormente, otro compactador de suelo para compactar y nivelar la mezcla de suelo según las especificaciones requeridas.

4.11.3 Se puede utilizar una planta de mezcla húmeda con ligeras modificaciones y otros dispositivos opcionales (por ejemplo, adición de cal o cemento) para la estabilización del suelo mediante el método de mezcla en planta. Dicha planta de estabilización de suelos es estacionaria.

4.12 Tractor-Motocultor y Rastra de Discos

4.12.1 Un motocultor **(Figura 25)** suele ser impulsado por un tractor. Está equipado con cuchillas giratorias que descomponen el suelo para mezclarlo y combinarlo con aditivos. La potencia al eje rotativo puede transferirse ya sea desde uno de los dos extremos o desde el centro a través de cadena y piñón.

Figure 25: Motocultor

4.12.2 Alternativamente, la Rastra de Discos (Figura 26) se utiliza para la pulverización y mezcla de suelo/áridos y aditivos. Está compuesta por múltiples discos de hierro o acero que tienen una ligera concavidad y están dispuestos en secciones. Los discos también están desplazados para que no sean paralelos con la dirección general del implemento. Esto se hace para que corten un poco el suelo que atraviesan y optimicen el resultado. La concavidad de los discos, así como su desplazamiento, provoca que aflojen y recojan el suelo que cortan. Las rastras de discos modernas son impulsadas por tractor y se levantan hidráulicamente.

Figure 26: Rastra de discos

4.12.3 Aunque un estabilizador de suelo móvil es el equipo preferido para el método de Estabilización en el Lugar, un motocultor impulsado por tractor y una rastra de discos pueden ser utilizados para trabajos a pequeña escala.

La capacidad de una rota cultora o una grada de discos accionada por un tractor para pulverizar y mezclar el suelo de manera eficiente para la estabilización del suelo in situ está determinada por la potencia de su motor y depende de la plasticidad del material del suelo. Para suelos cohesivos, se puede utilizar un factor del índice de plasticidad del suelo multiplicado por el porcentaje de la fracción del suelo más fina que 425 micrones en diámetro de partícula para sugerir la elección del equipo **(Tabla 14).**

Tabla 14: Selección de Motocultor/Rastra de Discos para la Estabilización en el lugar del Suelo

Sl. No.	Equipo	Índice de plasticidad x Porcentaje de fracción más fina que 425 micrones	Profundidad Máxima Normal (en mm) capaz de ser procesada en una sola capa
1.	Rastra de Discos	< 1000	120 – 150
2.	Motocultor de trabajo ligero (< 100 HP)	< 2000	150
3.	Motocultor de trabajo pesado (>100 HP)	< 3500	200-300 (dependiendo del tipo de suelo y la potencia del equipo)

4.13 Road Barredora de Carreteras

4.13.1 Una escoba o barredora de carreteras (Figura 27) realiza las siguientes funciones:

i) Barrido/Limpieza: Eliminación de polvo y materiales extraños sueltos de la carretera antes de la aplicación del aglutinante.

ii) Barrido con rastra: Distribución uniforme de las virutas de áridas dispersas de manera inconsistente en el caso de la aplicación de sellado de chips.

iii) Eliminación de las virutas de áridas sueltas del trabajo completado en el caso de la aplicación de sellado de chips.

En condiciones secas, el barrido puede causar considerable contaminación por polvo. Esto se controla con agua aplicada mediante un tanque de agua.

Están disponibles los siguientes tipos de barredoras de carreteras:

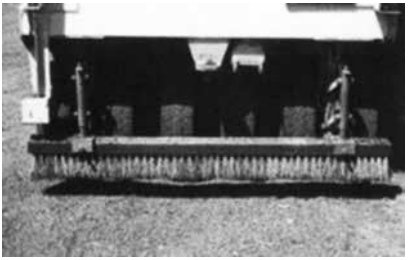
i) Barrido rotativo

ii) Barrido por succión

iii) Barrido al vacío

(a) Escoba giratoria

(b) escoba de vacío



(c) escoba de arrastre

Figure 27: Barredora de Carreteras

4.13.2 Barrido Rotativo –La forma más común de barrido rotativo es una escoba cilíndrica que puede tener un diámetro que varía de 500 mm a 1000 mm y una longitud de 2 m a 3 m. Las cerdas de la escoba deben tener una longitud uniforme para garantizar el mejor rendimiento. La escoba suele ser montada en un tractor o remolcada. También puede estar montada en la parte delantera de un camión.

La escoba puede estar equipada con un recipiente de recolección de polvo en su parte trasera para recoger el polvo y los residuos. Luego se lleva a un hoyo donde elimina los desechos mediante un mecanismo de descarga manual o hidráulica. En caso de que sea necesario barrer el polvo hacia los lados, el eje de la escoba puede girarse en relación con la dirección longitudinal de desplazamiento mediante un pasador de ajuste manual o cilindros hidráulicos.

Para un funcionamiento eficiente, la velocidad de rotación de la escoba debe coincidir con la velocidad hacia adelante del tractor/camión. Si la máquina se desplaza demasiado rápido en relación con la rotación de la escoba, las cerdas tienden a rozar sobre la superficie (causando un desgaste excesivo de las cerdas) y dejan suciedad atrás.

La configuración de presión de la escoba debe seleccionarse de manera que las cerdas apliquen la presión mínima sobre el pavimento, que sea coherente con la operación de limpieza. Las configuraciones de presión pueden ser manuales o automáticas.

Las escobas rotativas pueden ser de dos tipos:

i) **Barrido Mecánico** –El eje de la escoba es impulsado mecánicamente a través de la Toma de Fuerza (PTO) del motor del tractor. El levantamiento y la bajada de la escoba se logran manualmente.
La escoba está montada en dos ruedas, que pueden girar en ambas direcciones, en sentido horario y antihorario, en respuesta al movimiento hacia adelante o hacia atrás de la escoba.

ii) **Barrido Hidráulico** - En una escoba hidráulica, el movimiento circular de la escoba se logra hidráulicamente mediante una bomba hidráulica acoplada al motor del tractor. El levantamiento y la bajada de la escoba también son funciones hidráulicas.

4.13.3 Barredora por Succión – Una forma particular de escoba rotativa es la barredora por succión. Este tipo de unidad utiliza una escoba rotativa principal para dirigir el material barrido hacia una cabeza de succión que recoge todo el material barrido.

en un tanque de almacenamiento para su eliminación en otro lugar. Una segunda escoba rotativa más pequeña ayuda a eliminar el material suelto del bordillo y la cuneta.

Sin embargo, la barredora por succión no es tan eficiente como la barredora al vacío.

4.13.4 Barredora al Vacío – Está diseñada específicamente para la aplicación de sellado con chips. Elimina el material suelto de la superficie por succión únicamente. Consta de una unidad de succión posicionada cerca de la superficie de la carretera, una tolva cerrada para recoger el material, un rociador de agua y, cuando sea necesario, bolsas de filtro. La ausencia de contacto con la superficie minimiza el daño a los nuevos sellos y es el método preferido para eliminar virutas sueltas de nuevos sellos. Sin embargo, se debe tener cuidado para asegurarse de que la escoba no se detenga sobre una superficie de nuevo sello (sensible) mientras la succión aún está en funcionamiento, o la superficie podría resultar dañada.
Las barredoras al vacío también se pueden utilizar para limpiar el pavimento de polvo y escombros.

4.13.5 Barrido de Arrastre – Para aplicaciones de sellado con chips, cuando el chip se aplica a la tasa correcta, algunas áreas recibirán demasiados chips y otras muy pocos, incluso con un buen control. Esto se puede corregir mediante el barrido de arrastre. Un barrido de arrastre es una escoba de cerdas suaves unida a un marco ligero de madera o acero, utilizado después de la operación de esparcimiento de áridos. Se utiliza para corregir cualquier deficiencia en el esparcimiento. Al arrastrar la escoba sobre la superficie, sin aplicar presión, se produce una redistribución menor de los chips sueltos y se llenan los huecos abiertos entre ellos. Cuando la superficie está caliente, se necesitan precauciones adicionales para evitar desalojar los chips. Es importante controlar de cerca la velocidad del arrastre, ya que una velocidad excesiva puede dañar el sello y dispersar los chips.

4.14 Distribuidor de Betún

4.14.1 Suele ser una unidad autopropulsada **(Figura 29)** o remolcada **(Figura 28)** y realiza las siguientes funciones:

i) Distribuir el aglutinante de manera uniforme.

ii) Distribuir el aglutinante a una tasa predefinida.

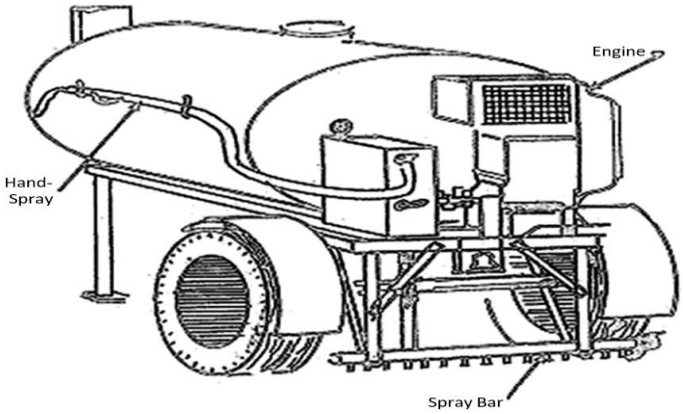


Figure 28: Distribuidor de Betún (Tipo Remolcado)

Engine: Motor, Hand Spray: Aplicación Manual, Spray Ba: Barra de Pulverización

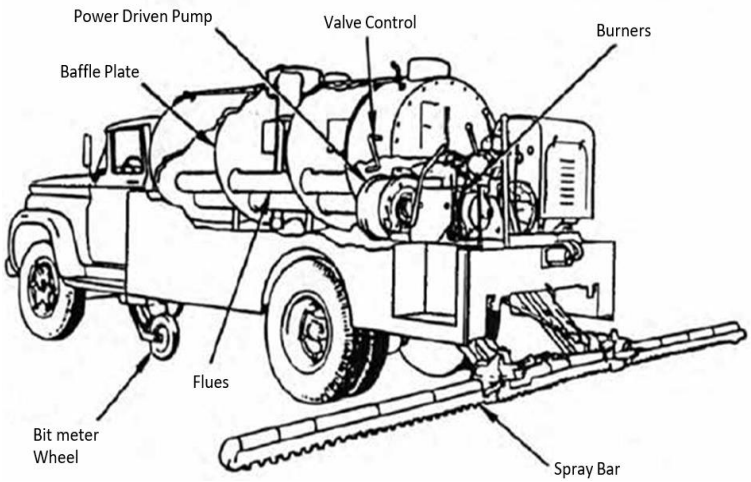


Figure 29: Distribuidor de Betún (Tipo Autopropulsado)

Baffle Plate: Placa deflectora, Power Driven Pump: Bomba accionada por energía, Valve Control: Control de Válvula, Burners: Quemadores, Bitumeter Wheel: Bitúmetro (Rueda), Fluses: Chimeneas, Spray Bar: Barra de Pulverización

4.14.2 Hay cuatro tipos de distribuidores de betún:

i) **Tipo de Tanque Presurizado** – El tanque de betún está presurizado por un compresor de aire, generando así la presión constante necesaria en la barra de pulverización. La tasa de aplicación se logra controlando la velocidad del vehículo.

Solo puede usarse con éxito para aglutinantes de baja viscosidad como las emulsiones. Por lo tanto, las máquinas de este tipo son raras en la práctica.

ii) **Tipo de Propagación a Tasa Constante** –Se refiere a un sistema en el que el asfalto se suministra a la barra de rociado mediante una bomba dosificadora que se acciona a una velocidad proporcional a la velocidad del vehículo a través de una toma de fuerza de la transmisión principal del vehículo a través de una caja de transferencia de múltiples relaciones. La entrega de asfalto a la barra de rociado es 'sin retorno', lo que significa que, durante la operación de rociado, no se permite que el betún pase por alto la barra de rociado y recircule al tanque. La tasa de aplicación requerida se obtiene seleccionando la relación de engranajes apropiada en la caja de transferencia. Si se mantiene una cierta velocidad mínima (predeterminada) de la carretera, la bomba dosificadora suministrará la cantidad requerida de asfalto a la barra de rociado independientemente de las variaciones de velocidad. Este tipo de distribuidor tiene la desventaja de que, si se requiere cerrar algunos chorros, la tasa general de propagación se ve afectada. Muy pocas máquinas de este tipo están en uso.

iii) **Tipo de volumen constante** – Esta máquina está equipada con una bomba dosificadora, cuya salida se puede preestablecer. Toda la cantidad de betún suministrada por la bomba se alimenta a la barra de rociado cuando se está realizando el rociado y no hay un sistema de bypass para recircular el aglutinante al tanque. La tasa de aplicación deseada se logra mediante un control preciso de la salida de la bomba y la velocidad del vehículo. Los distribuidores de volumen constante son adecuados para aplicaciones pesadas de aglutinante.

iv) **Tipo de Presión Constante** – Aquí, la presión de la barra de rociado se mantiene constante y la tasa de aplicación se logra controlando con precisión la velocidad del vehículo. Una válvula de alivio controla la presión en la barra de rociado y permite que el betún excesivo pase por alto la barra de rociado y regrese al tanque. Los distribuidores de presión constante son adecuados para aplicaciones ligeras de aglutinante.

Para todos los distribuidores de asfalto (excepto el tipo de propagación a tasa constante), la tasa de aplicación es inversamente proporcional a la velocidad del vehículo.

4.14.3 Un distribuidor de asfalto autopropulsado típico consta de lo siguiente:

i) Tanque de almacenamiento de asfalto aislado y calentado (con capacidad de 5,000 a 20,000 litros)

ii) Barra de rociado con chorros de rociado (o boquillas)

iii) Bomba para suministrar asfalto a la barra de rociado

iv) Barra de rociado (más un rociado manual para atender áreas difíciles y esquinas donde el distribuidor de asfalto no puede llegar)

v) Un termómetro de tipo dial instalado en el cuerpo para indicar la temperatura del asfalto.

vi) Un tacómetro preciso capaz de medir la velocidad de desplazamiento y un dispositivo de bloqueo para fijar la velocidad deseada.

vii) Un dispositivo de control electrónico que controlará la cantidad de asfalto rociado, así como los parámetros de rociado (por ejemplo, número de boquillas, velocidad del camión, temperatura del fluido, etc.)

El distribuidor de asfalto rocía el asfalto a través de una barra de rociado (y chorros de rociado) a la que se suministra el asfalto mediante una bomba, extrayendo el asfalto de un tanque de almacenamiento aislado y calentado. La bomba de asfalto suele ser de tipo de engranaje con desplazamiento positivo. La presión del asfalto generalmente se controla utilizando una bomba de velocidad variable o una bomba de velocidad constante con una válvula de alivio de presión. La velocidad o presión correcta de la bomba es aquella que no atomiza el asfalto ni distorsiona el ventilador de rociado / boquilla. La atomización del asfalto y la distorsión del ventilador de rociado pueden ocurrir si la presión del asfalto es demasiado alta. Al mismo tiempo, una presión demasiado baja puede resultar en rayas debido a una descarga no uniforme de asfalto desde las boquillas de rociado. Por lo tanto, se debe seleccionar la velocidad o presión de la bomba adecuada en función de los gráficos y datos del fabricante para determinar el volumen por minuto de descarga para cada tamaño de boquilla.

El sistema de calentamiento de asfalto generalmente es a través de una caldera de aceite caliente, instalada a bordo del distribuidor y aceite de fluido térmico circulado a través de un conjunto de bobinas instaladas en el tanque. El aceite de fluido térmico se puede calentar ya sea a través de tubos de llama/humo, equipados con quemador (usando Diesel o queroseno) o calentador electrónico. Los sistemas de control varían desde manuales hasta completamente automáticos con control termostático y dispositivos de protección contra apagado de llama. Se proporciona una varilla de medición para indicar el nivel de asfalto en el tanque.

La barra de rociado puede ser de 3 categorías diferentes. Mientras que la primera solo distribuye el asfalto, la segunda categoría implica la circulación del asfalto, es decir, el asfalto se circula en un circuito cerrado desde el tanque hasta la barra de rociado y luego de vuelta al tanque, evitando así la posibilidad de que el asfalto se solidifique en la barra de rociado y manteniendo la barra de rociado a la temperatura del asfalto. La tercera categoría tiene circulación de asfalto más un conjunto de bobinas incorporadas para permitir la circulación de aceite caliente en la barra de rociado, manteniendo así una temperatura precisa en todo momento.

Los chorros de rociado suelen ser de dos tipos: chorros ranurados y chorros giratorios. Mientras que los primeros son chorros de alta salida y son adecuados para operaciones de lechada y tasas de aplicación muy pesadas, los últimos son chorros de salida relativamente más bajos y son adecuados para operaciones de revestimiento superficial. Las viscosidades ideales del asfalto para rociar a través de diferentes tipos de chorros son claramente diferentes (consulte la recomendación del fabricante), y, por lo tanto, las temperaturas recomendadas a las que cada tipo y grado individual de betún debe rociarse, a través de cada tipo de chorro, variarán.

Las barras de rociado cubren un ancho de 1.8 a 9.1 m en un solo paso, dependiendo de su ancho y la capacidad de la bomba. Para asegurar que las boquillas de rociado no interfieran entre sí, es necesario ajustar el ángulo del eje largo de las aberturas de las boquillas. El ángulo de la boquilla varía con la marca del equipo, pero generalmente está entre 15 y 30 grados. **(Figura 30)**.

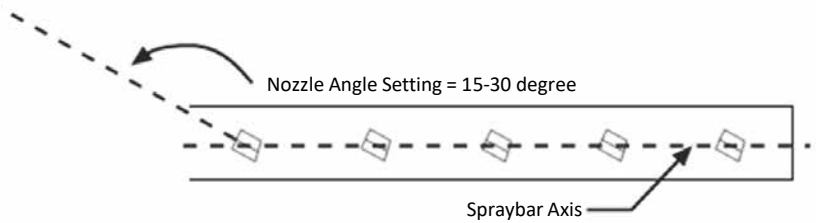


Figura 30: Ajuste Correcto del Ángulo de la Boquilla

1. Ajuste del ángulo de la boquilla 15-30 grados, 2. Eje de la barra de pulverización

Ajustar la altura de la barra de rociado por encima de la superficie de la carretera es importante para garantizar la uniformidad del rociado. La altura requerida debe mantenerse durante toda la operación de rociado. La altura necesaria para una cobertura doble es el doble que la de una cobertura simple, y la de una cobertura triple es 1.5 veces la de una cobertura doble.

Se muestra una triple cobertura con un espaciado de boquillas de 100 mm en la Figura 31. Si el espacio entre las boquillas fuera de 150 mm, la altura necesaria de la barra de rociado para una triple cobertura habría estado tan alta por encima de la superficie de la carretera que el viento podría distorsionar los ventiladores de rociado. En tal caso, es preferible utilizar un patrón de cobertura doble. Bajo ninguna circunstancia se debe utilizar un patrón de cobertura simple para rociar asfalto.

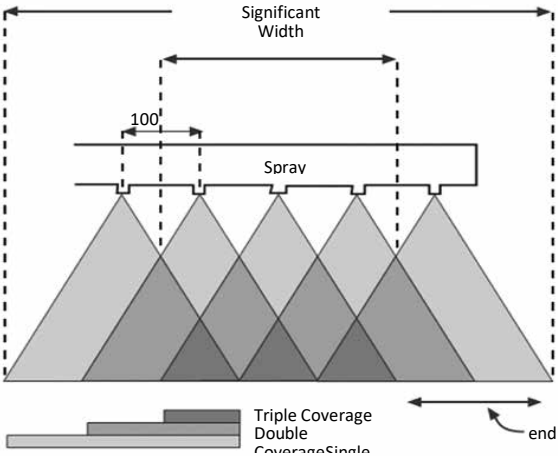


Figure 31: Solapamiento de Boquillas de Rociado para dar una Cobertura Triple de Asfalto

1. ancho significativo, 2. ancho efectivo, 3. 100mm, 4. barra rociadora, 5. cono final, 6. cobertura triple, doble, sencilla

Los inyectores tienen que ser controlados individualmente. La apertura y el cierre de estos inyectores se puede operar manual o neumáticamente. Se debe instalar un sistema de control que permita al operador modificar, en cualquier momento, los diversos parámetros de pulverización (por ejemplo, iniciar o detener o modificar el número de inyectores abiertos, etc.). Básicamente, la tasa de propagación es una función de cuatro parámetros, a saber, la viscosidad del ligante, la velocidad de la bomba, la velocidad del camión y el número de inyectores en la barra de pulverización. El operador tiene que asegurarse de que la cantidad de betún que pasa por un inyector es la especificada y de que el ligante tiene las características deseadas. Al pulverizar una doble o triple cobertura, la cantidad de betún pulverizado por los primeros y segundos inyectores de la barra de pulverización tendrá una cantidad menor en los bordes de la carretera que los demás inyectores. Por lo tanto, los primeros y segundos inyectores de la barra de pulverización tendrán diferentes tamaños para tener una pulverización uniforme de betún.

Todos los distribuidores deben tener una rueda de Bitúmetro o un tacómetro, que puede medir la velocidad de desplazamiento y la distancia recorrida. Los velocímetros electrónicos y láser son comunes en los distribuidores de asfalto modernos. Los distribuidores modernos tienen interbloqueos entre la bomba de asfalto y la velocidad de avance del distribuidor. A medida que el distribuidor cambia de velocidad, la velocidad de la bomba se ajusta para compensar el cambio en la velocidad del distribuidor. Como se requiere que el distribuidor se mueva a velocidades lentas (del orden de 5-10 km/h), generalmente hay disposiciones para bloquear el acelerador a la velocidad requerida.

Aunque los distribuidores de asfalto calentados también pueden usarse para emulsiones, están disponibles distribuidores de emulsión especialmente diseñados.

4.14.4 Es importante revisar y calibrar regularmente tanto la uniformidad de la tasa de rociado de betún a lo largo de toda la longitud de la barra de rociado como la precisión del tacómetro. La frecuencia con la que se realizan estas comprobaciones dependerá en cierta medida de la regularidad con la que se utilice el equipo, pero en ningún caso el intervalo entre comprobaciones debe ser superior a seis meses o según lo recomendado por el fabricante, lo que ocurra primero.

4.14.5 Los siguientes puntos deben recibir la atención adecuada al usar distribuidores de betún:

i) La barra de rociado y las boquillas deben limpiarse regularmente para asegurar el flujo de los chorros.
ii) La altura de la barra de rociado por encima de la superficie de la carretera debe ajustarse correctamente y mantenerse constante durante toda la operación.
iii) La tasa de aplicación depende de la velocidad de desplazamiento y el operador debe tener una tabla de calibración que relacione la tasa de aplicación correcta en cualquier momento dado.
iv) La uniformidad de la aplicación debe comprobarse periódicamente mediante una prueba de bandeja.
v) Los extintores de incendios deben estar listos para su uso en caso de emergencia.
vi) Deben instalarse disposiciones adecuadas de solapas laterales para proteger los bordillos y las aceras de ser rociados.

vii) El operador y el ayudante que operan el distribuidor de betún deben ser personal capacitado

4.15 Planta de Mezcla Caliente

4.15.1 Una planta de mezcla central utilizada para producir la mezcla bituminosa caliente (Macadam Bituminoso, Macadam Bituminoso Denso, Concreto Bituminoso, etc.) se llama planta de mezcla caliente. Tiene provisiones para:

i) Alimentación y mezcla controladas de agregados de diferentes tamaños en la proporción especificada.
ii) Secado de agregados y calentamiento de los mismos a la temperatura especificada.
iii) Calentamiento uniforme del betún a la temperatura especificada.
iv) Alimentación controlada de betún y relleno en la proporción especificada.
v) Mezcla forzada/positiva de todos los ingredientes para producir una mezcla consistente, uniforme, homogénea a la temperatura especificada y según la fórmula de mezcla de trabajo.

4.15.2 La Planta de Mezcla Caliente puede clasificarse en base a la metodología de preparación de la mezcla caliente de la siguiente manera:

i) **Planta de Mezcla Caliente de Tipo Continuo/Tambor (Figura 32)**

- En este tipo de planta, los agregados, las multas y el betún se alimentan continuamente en el molino de pug/mezcla de tambor en la proporción deseada y la mezcla caliente se descarga sin interrupción.

Las capacidades típicas de la planta de mezcla de tambor utilizada en el sector de la construcción de carreteras son 40-60 TPH, 60-90 TPH y 90-120 TPH.

La planta de mezcla caliente de capacidad 40-60 TPH especifica que la salida de la planta será de 40 TPH con un contenido de humedad del 6 por ciento presente en los agregados y 60 TPH con un contenido de humedad del 2 por ciento presente en los agregados.

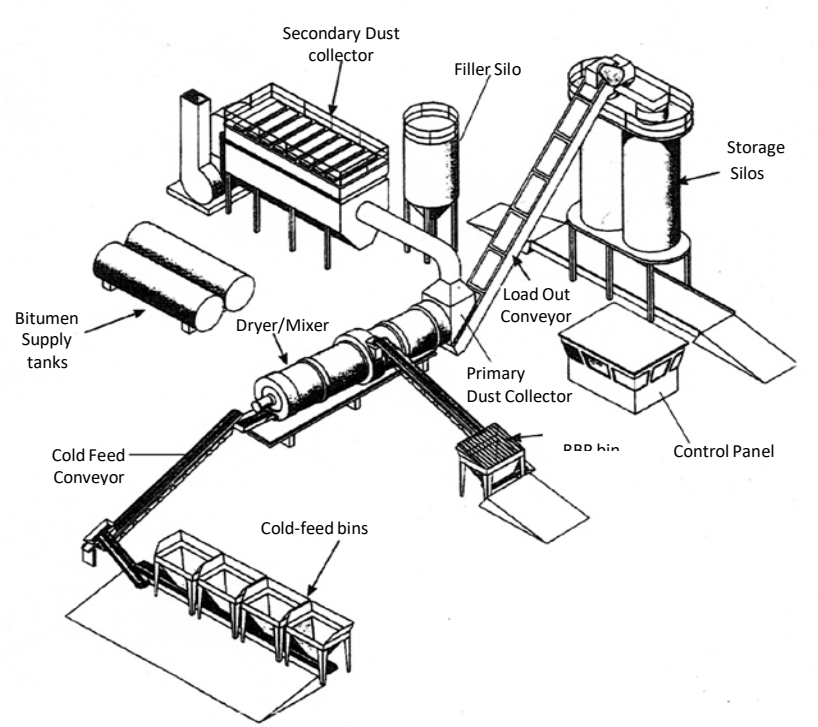


Figura 32: Planta de Mezcla en Caliente Tipo Tambor

Tanques de suministro de betún, transportador de alimentación en frío, secador/mezclador, tolvas de alimentación en frío, colector de polvo secundario, silo de llenado, silos de almacenamiento, transportador de carga, colector de polvo primario, tolva de RBP, panel de control.

ii) **Planta de Mezcla en Caliente Tipo Batch (Figura 33)** – En la planta tipo batch, el asfalto caliente se agrega con el lote de áridos calientes y el relleno (si es necesario) a la temperatura requerida en la proporción deseada en la unidad de mezcla, y la mezcla en caliente se prepara en lotes.

Las capacidades típicas de las plantas de mezcla en lotes utilizadas en el sector de construcción de carreteras son de 120 TPH, 160 TPH, 200 TPH, 240 TPH y 320 TPH.

Generalmente, se debe preferir la planta de mezcla en caliente tipo batch para los trabajos que involucran mezcla bituminosa caliente debido a un mejor control de la gradación.

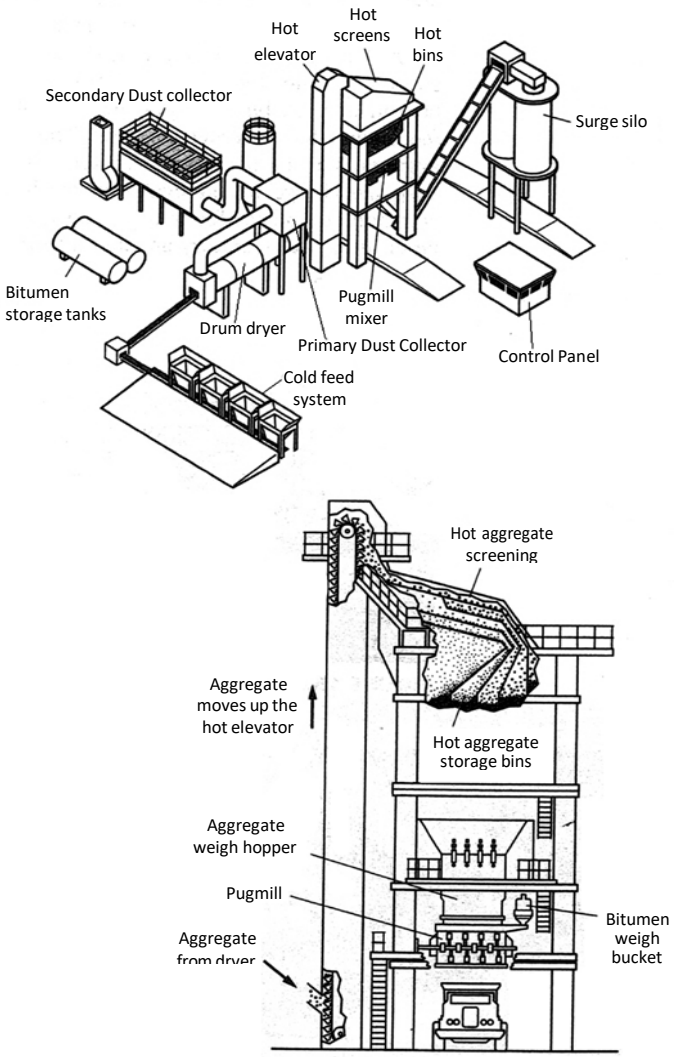


Figure 33: Planta de Mezcla en Caliente Tipo Batch

Tanques de almacenamiento de betún, sistema de alimentación en frío, secador de tambor, colector de polvo primario, colector de polvo secundario, mezclador pugmill, elevador de calor, pantallas de calor, tolvas de calor, silo de sobretensiones, panel de control.

Cribado de agregados calientes, los agregados se elevan por el elevador de calor, contenedores de almacenamiento de agregados calientes, tolva de pesaje de agregados, pugmill, balde de pesaje de betún, agregados provenientes del secador.

4.15.3 La planta de mezcla en caliente se puede clasificar según la dirección del flujo de agregados y gases calientes en el tambor del secador como: tipo de contraflujo y tipo de flujo paralelo.

4.15.4 La Planta de Mezcla en Caliente puede clasificarse según su movilidad como tipo estacionario y tipo móvil. La planta móvil se prefiere cuando la cantidad de trabajo es pequeña y la planta requiere desplazamientos frecuentes.

4.15.5 La Planta de Mezcla en Caliente debe tener las siguientes características esenciales:

A. Las características generales que son comunes tanto para los tipos de tambor como para los tipos de lotes de plantas son las siguientes:

i) Unidad de Almacenamiento y Suministro de Áridos Fríos con al menos cuatro tolvas que tienen un sistema de cinta transportadora para la proporción inicial de áridos de cada tolva en las cantidades requeridas. La tolva que contiene los finos está equipada con un vibrador de tolva para garantizar el flujo libre de los finos. Cada tolva tiene una compuerta ajustable fácilmente y un dispositivo de advertencia de nivel bajo/sin flujo.

ii) Variador de velocidad debajo de cada tolva para controlar la velocidad de la cinta y, así, variar la proporción de áridos. Un sensor de carga electrónico en la cinta principal mide el flujo de áridos.

iii) Unidad de rechazo para áridos sobredimensionados para evitar daños a los vuelos/cuchillas del secador.

iv) Unidad secadora con vuelos de secador diseñados y dispuestos adecuadamente con quemador automático (es decir, detección automática de fallas en la llama y sistema de encendido automático) capaz de calentar el árido a la temperatura requerida sin ningún combustible visible no quemado o residuo de carbono en el árido y reduciendo el contenido de humedad del árido al mínimo especificado.

v) La planta está equipada con instrumentos termométricos adecuados en lugares apropiados para indicar o registrar la temperatura de los áridos calentados, el asfalto y la mezcla.

vi) Unidad de almacenamiento y suministro de asfalto capaz de calentar, medir y rociar el asfalto a la temperatura especificada con sincronización automática de la alimentación de asfalto y áridos en la proporción requerida.

vii) Un sistema de llenado mineral capaz de alimentar material de relleno en la mezcla en la cantidad correcta donde sea necesario.

viii) Sistema de control de contaminación/polvo para la unidad secadora para evitar la emisión de polvo fino a la atmósfera para el control ambiental y reciclar los finos permitidos en la mezcla.

ix) Disposición para el almacenamiento de mezcla en caliente, si es necesario.

x) Panel de control central capaz de pre ajustar, controlar/sincronizar todas las operaciones desde la alimentación de áridos fríos hasta la descarga de la mezcla en caliente para garantizar la calidad adecuada de la mezcla. Debería tener indicadores para cualquier mal funcionamiento en la operación.

B. Para la Planta de Tipo Batch:

i) La gradación secundaria de áridos, en caliente, se lleva a cabo en la unidad de cribado. La unidad de cribado (Control de Gradación) tiene una pantalla vibratoria de varios niveles o un tambor de cribado rotativo para calentar y dimensionar con precisión los áridos calientes y almacenarlos en tolvas calientes separadas.

ii) La planta tiene una unidad mezcladora separada (pug mill) para producir una mezcla homogénea, a diferencia de la planta de tambor (donde el calentamiento de áridos y la preparación de la mezcla se realizan en el mismo tambor secador).

En caso de Reciclaje en Caliente en la Planta, esta debe tener una disposición adecuada para la adición de RBP (Pavimento Bituminoso Recuperado) en la proporción requerida en la mezcladora/tambor secador.

Para obtener más información sobre la Planta de Mezcla en Caliente, consulta IRC:90.

4.16 Finalizadora de Pavimento

4.16.1 Una Finalizadora de Pavimento (Figura 34) se utiliza en la construcción de carreteras asfaltadas para colocar mezclas no bituminosas, así como mezclas bituminosas. A continuación, se presentan las funciones principales de una Finalizadora de Pavimento:

i) Colocar y esparcir la mezcla para lograr una superficie especificada.

ii) Facilitar el logro de una calidad de superficie especificada y una pendiente/nivel/acabado correcto para cumplir con las especificaciones de diseño de carreteras para un viaje seguro y cómodo.

iii) Lograr una inclinación y super elevación especificadas.

iv) Lograr un grosor requerido, un grado uniforme de compactación, una calidad homogénea de la mezcla durante la colocación y una capacidad de carga uniforme en toda la superficie.

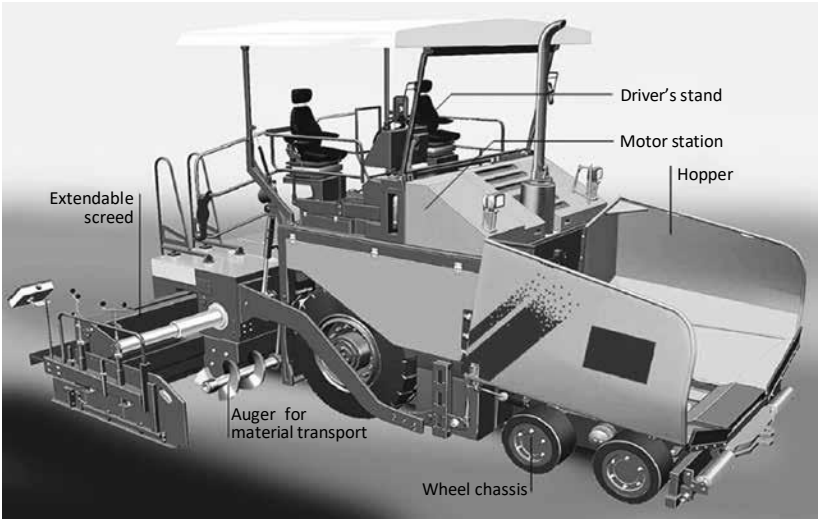


Figura 34: Finalizadora de Pavimento

Regla extensible, sinfín para transporte de material, chasis con ruedas, puesto del conductor, estación de motor, tolva.

4.16.2 Clasificación de las Finalizadoras de Pavimento se presenta en la **Tabla 15.**

Tabla 15: Tipos de Finalizadoras de Pavimento

Sl. No.	Bases	Tipos
1.	Control de la extensión de la regla y mecanismo de control para la elevación de la regla a través del montaje/activación del punto de remolque.	a) Pavimentadora Mecánica. b) Pavimentadora Hidrostática.
2.	Tipo de Tracción.	a) Pavimentadora de Ruedas b) Pavimentadora con Cadena de Oruga

En caso de que se requiera un ancho de pavimentación de 8 m o más, se recomienda el uso de una finalizadora de pavimento con cadena de oruga para un mejor control sobre la tracción y la calidad del pavimento.

4.16.3 La Finalizadora de Pavimento consta de dos unidades: la unidad del tractor y la unidad de la regla de pavimentación. La unidad del tractor es la parte delantera de la finalizadora y alberga el motor principal, rodillos de empuje, tolva receptora, transportadores de alimentación, tornillos distribuidores, sistema hidráulico, cabina del operador y sistema de conducción. La función principal del tractor es propulsar el camión volquete, transportar y distribuir el material de

pavimentación a través de los tornillos distribuidores y remolcar la regla de pavimentación. La unidad de la regla de pavimentación es la parte trasera de la finalizadora y consta de una regla de nivelación, brazos de remolque y un mecanismo de ajuste del grosor de la capa. La capa es del tipo 'flotante, autonivelante' y es libre de subir y bajar, buscando así su propio ángulo de ataque y estableciendo el grosor deseado de la capa. La clave para el rendimiento de nivelación de la capa es rellenar los puntos bajos y disminuir la influencia de los puntos altos, actuando, así como un dispositivo de promedio.

4.16.4 Es necesario mantener un flujo constante de material frente a la regla de pavimentación para mantener la profundidad correcta de la capa, lo cual se facilita mediante la configuración adecuada de las compuertas de flujo y los tornillos distribuidores en la finalizadora.

4.16.5 La regla de pavimentación cuenta con un sistema de apisonamiento y vibración con amplitud ajustable y frecuencia variable para compactar la mezcla que se está pavimentando. El efecto de compactación de la regla se determina por el peso de la regla, el área de contacto del elemento de apisonamiento o vibración, la velocidad de pavimentación, la frecuencia y amplitud de la unidad de apisonamiento y la placa de la regla.

4.16.6 La regla cuenta con un sistema de calentamiento interno para precalentar la placa de la regla y el pisón a la temperatura deseada antes de comenzar la pavimentación de mezclas bituminosas en caliente y, así, evitar la adherencia o pegajosidad del asfalto. Hay tres tipos de dispositivos de calentamiento: quemador de Diesel/aceite, quemador de gas y calentador eléctrico.

4.16.7 El sistema de asistencia de la regla proporciona la neutralización parcial de la carga de la regla y garantiza una presión constante de la regla sobre la mezcla, independientemente de la capacidad de carga de la mezcla y del ancho que se esté pavimentando. También permite transferir parte del peso de la regla al eje de transmisión/orugas de la máquina para evitar el giro de las ruedas/orugas en pendientes adversas o condiciones del suelo.

4.16.8 Otro ajuste en la regla es el mecanismo de control de la corona, que permite ajustar la corona para cumplir con los requisitos geométricos del carril de pavimentación mediante la regulación de un dispositivo tensor para flexionar la parte inferior de la regla y producir la corona deseada.

4.16.9 Las finalizadoras de pavimento con un ancho de pavimentación que varía de 1.2 m a 1.8 m y extensibles hidráulicamente hasta 3.4 m (que se pueden extender aún más con una extensión con perno de hasta 5 m) y un grosor de pavimentación que varía de 150 mm a 250 mm pueden utilizarse para proyectos de carreteras pequeñas o en espacios confinados. Se proporciona un rango típico de especificaciones para finalizadoras de pavimento utilizadas en proyectos de carreteras medianas y grandes en la **Tabla16.**

Table 16: Especificaciones de las acabadoras de adoquines utilizadas en Proyectos de carreteras medianos/grandes

Sl. No.	Especificaciones	Pavimentadora de ruedas	Extendedor a de cadenas
1.	Anchura básica de pavimentación	2.5 m to 3.0 m	2.5 m to 3.0 m
2.	Anchura ampliable hidráulicamente	Upto 6.0 m	Upto 6.0 m
3.	Máx. Anchura de extendido con extensión de perno	Upto 8.0 m	Upto 16 m
4.	Espesor del pavimento	10 to 300 mm	10 to 500 mm
5.	Capacidad de colocación	300 – 700 TPH	600 – 1600 TPH
6.	Velocidad de pavimentación	0 – 45 m/min	0 – 24 m/min
7.	Velocidad de desplazamiento	0 – 20 km/hr	0 – 4.5 km/hr

4.16.10 Para la colocación de mezclas bituminosas en proyectos de carreteras, se utiliza una extendedora de acabado hidrostática autopropulsada con un instrumento de detección electrónica para la nivelación automática y el control del perfil.

Se han desarrollado tres tipos básicos de sistemas de referencia de grado - el alambre conductor erigido, la referencia móvil y la zapata de coincidencia de juntas. Estos sistemas de referencia suelen utilizar una combinación de sensores de pendiente longitudinal para establecer la posición en la dirección del tráfico y pueden incluir un dispositivo de control de la pendiente para controlar la pendiente transversal del carril de pavimentación.

4.16.11 Para más información sobre acabadoras de adoquines, consulte IRC:SP:86..

4.17 Rodillo

4.17.1 Un rodillo es un compactador utilizado para compactar terraplenes, subrasantes, subbases granulares (GSB), hormigón magro seco (DLC) o mezclas bituminosas. La selección del rodillo depende del tipo de aplicación, el espesor de la capa y las propiedades del material a compactar.

4.17.2 Los rodillos se clasifican a grandes rasgos en los siguientes tipos **(Figura 35)** en función de su utilidad en diferentes situaciones:

i) Rodillo estático [Tipo de tres ruedas y tipo tándem (de dos ruedas)].

ii) Rodillo de pata de oveja

iii) Rodillo de zapata (el rodillo de zapata estático se denomina rodillo apisonador)

iv) Rodillo neumático

v) Rodillo vibratorio (tipos de tambor simple y doble

Padfoot Roller/Tamping Roller

Pneumatic Tyred Roller

Smooth Drum Vibratory Roller

Conventional Three-Wheeled Roller

Figure 35: Tipos de rodillos

1. rodillo apisonador, 2. Rodillo neumático, 3. Rodillo compactador vibratorio de tambor, 4. Rodillo convencional liso de tres ruedas

4.17.3 Los mecanismos de compactación disponibles en los distintos tipos de rodillos se indican en **la Tabla 17**.

Tabla 17: Rodillos y sus mecanismos de compactación

Tipo de rodillo	Tipo de mecanismo de compactación			
	Impacto	**Presión**	**Vibración**	**Amasado**
Estática		√		
Vibratorio	√	√	√	
Neumático		√		√
Pata de oveja		√		√
Pie apisonador	√	√		

4.17.4 La selección del rodillo en función del tipo de actividad se indica en **Tabla 18**

Tabla 18: Selección de rodillos en función del tipo de actividad

Sl. No.	Capa	Observaciones	Tipo de rodillo
1.	WMM	Por capa espesor ≤100 mm	Rodillo estático (8-10 toneladas)
		Para espesores de capa de 100-200 mm	Rodillo vibratorio con un mínimo peso estático de 8-10 toneladas
2.	Capa bituminosa (BM, SDBC, DBM, BC, etc.)	Rodamiento inicial o de avería	Rodillo estático (8-10 toneladas)
		Intermedio Rodando	Rodillo estático (8-10 toneladas) o Rodillo vibratorio (8-10 toneladas) o Rodillo neumático (12-15 toneladas) o Rodillo combinado (8-10 toneladas)
		Rodillo de acabado	Rodillo estático tándem (6-8 toneladas)
3.	Terraplén/ Subsuelo		Rodillo estático (8-10 toneladas) o Rodillo vibratorio (8-10 toneladas) o Rodillo neumático (12-15 toneladas) o Rodillo de pata de oveja/pata de cabra (para suelos arcillosos y limosos)
4.	Hormigón magro seco (DLC)		Rodillo vibratorio (8-10 toneladas)
5.	Obras de mantenimiento (arcenes y baches)		Rodillo estático (2 -3 toneladas) o Rodillo de mano o Compactador de placas o Apisonadora (500-750 golpes por minuto)

4.17.5 Los rodillos deben moverse a velocidad uniforme. La velocidad no debe superar los 5 km/h para el rodillo estático y los 6,5 km/h para el rodillo de neumáticos.

La velocidad de un rodillo vibratorio dependerá de la frecuencia de funcionamiento y de la distancia de impacto deseada (determinada por el número de impactos por metro). Por ejemplo, un rodillo vibratorio que funcione a una frecuencia de 60 Hz puede proporcionar 39 impactos por metro a una velocidad de 5,5 km/h. La distancia entre impactos debe ser tal que permita que toda la superficie sea impactada mientras el rodillo se desplaza en modo vibratorio. Dado que el diámetro del tambor controla la longitud del arco de contacto del tambor con la superficie del pavimento, el espaciado de impacto puede ajustarse más estrecho o más ancho en función del diámetro del tambor.

La regla general para el espaciado óptimo de los impactos en el caso de la compactación bituminosa es de 33-46 impactos por metro, siendo el valor más alto adecuado para un diámetro de tambor más pequeño (hasta 1 m) y el valor más bajo adecuado para un diámetro de tambor más grande (1,2 - 1,4 m).

4.17.6 Al utilizar cualquier rodillo vibratorio, es aconsejable seleccionar el ajuste de frecuencia más alto recomendado para un trabajo concreto y, a partir de ahí, elegir el ajuste de amplitud más bajo coherente con la consecución de la densidad objetivo. Si se crea una fuerza excesiva en el tambor seleccionando una amplitud demasiado alta para el espesor de la capa de material o las propiedades de la mezcla, se corre el riesgo de dañar los áridos. Sin embargo, al aumentar el espesor de la capa, el ajuste de amplitud necesario también será mayor.

En la tabla 19 se indican las frecuencias y amplitudes adecuadas para diferentes aplicaciones en el caso de los rodillos vibratorios. En la actualidad, también existen en el mercado rodillos vibratorios con frecuencias de hasta 70 Hz.

Table 19: Application Guidelines for Vibratory Rollers

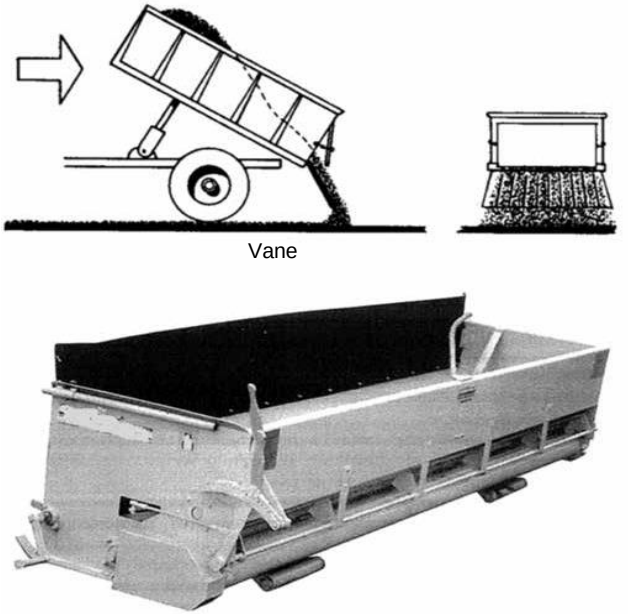
Sl. No.	Aplicación	Carga lineal estática (kg/cm)	Amplitud (mm)	Frecuencia (Hz)
1.	Movimiento de tierras	≥ 30	≥ 1.5	28–35
2.	Base granular	≥ 10	≥ 0.4	28–60
3.	Subbase granular			
4.	Capa base bituminosa	10 – 30	0.35 – 0.9	30–60
5.	Capa de rodadura bituminosa	10 – 30	≤ 0.5	40–60

4.17.7 Para más información sobre rodillos, compactadores de placa y apisonadores, consulte IRC:SP:97.

4.18 Esparcidor de gravilla

4.18.1 Un esparcidor de virutas de áridos recibe y dispensa un material árido en cantidades predeterminadas y en una capa con un espesor sustancialmente uniforme. La velocidad de distribución del material se controla para conseguir el peso deseado de árido por unidad de superficie y depende de la velocidad de la máquina. Los esparcidores de gravilla son de tres tipos básicos:

i) **Esparcidor de compuerta trasera (Figura 36)** – El esparcidor se conecta directamente a la compuerta trasera de un camión volquete. Tradicionalmente, los esparcidores de compuerta trasera van desde el simple esparcidor de paletas hasta el más sofisticado esparcidor de rodillos accionado hidráulicamente. Sólo este último tipo es capaz de proporcionar de forma consistente el control necesario de uniformidad y tasa de aplicación



Vane

Roller (Hopper Type) Spreader

Figure 36: Esparcidor de virutas de árido de la compuerta trasera

1. esparcidor de paletas, 2. Rodillo (tipo tolva) esparcidor

El esparcidor de paletas tiene una placa de acero con una serie de paletas para esparcir los áridos sobre la anchura de carril deseada.

El esparcidor de rodillos tiene una tolva con un rodillo de alimentación. Las virutas se descargan por gravedad desde la tolva a través de una compuerta ajustable y sobre el rodillo de alimentación giratorio. La velocidad periférica del rodillo y el grado de apertura de la compuerta determinarán la velocidad a la que las virutas pasarán al rodillo y al pavimento. Para garantizar una distribución uniforme de la gravilla, la dosificación se realiza mediante el rodillo de alimentación, que se activa mediante pequeñas ruedas accionadas por ruedas de camión. De este modo, las variaciones de velocidad del camión producen las correspondientes variaciones en la velocidad de descarga del material árido.

Los esparcidores modernos utilizan placas de corte accionadas neumáticamente para variar la anchura de esparcimiento.

ii) Esparcidor montado en camión (remolcado)– Está conectado a la compuerta trasera del camión volquete igual que un esparcidor de compuerta trasera, pero tiene ruedas para sostener el esparcidor. Básicamente, se trata de una tolva con ruedas que se engancha al camión de áridos y es impulsada por éste. La alimentación es impulsada por las ruedas de la tolva y las virutas de la tolva se reponen desde el cuerpo elevado del camión volquete. La tolva contiene una compuerta de alimentación, un sinfín y un rodillo de esparcimiento/alimentación rugosa para distribuir los áridos uniformemente por toda la anchura de la caja. En la parte delantera del esparcidor hay un enganche ajustable mediante el cual se fija al camión.

Este tipo de esparcidor tiene controles para regular la alimentación compuertas, rodillo alimentador, sinfín y altura de enganche del camión.

iii) **Esparcidor autopropulsado (Figura 37)** –la potencia para la operación de esparcido en lugar de depender del propio camión. Se conecta al camión de áridos mediante un gancho autoblocante que se bloquea en el camión cuando éste retrocede hacia la parte trasera de la máquina. A continuación, el esparcidor tira del camión a lo largo de la zona de esparcimiento. El esparcidor consta de una tolva receptora en la parte trasera en la que se descargan los áridos desde el camión de reparto. Dos palas individuales (normalmente

controladas automáticamente) transfieren las astillas desde la tolva receptora hasta una tolva de esparcimiento en la parte frontal de la máquina. La tolva de esparcimiento está equipada con una compuerta de alimentación y un rodillo de esparcimiento para controlar/dosificar la dispersión de las astillas en relación con la velocidad de la máquina. La compuerta también se utiliza para variar el ancho de dispersión.

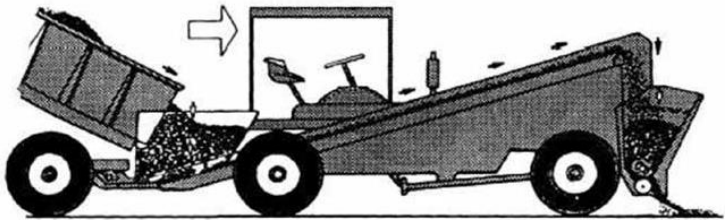


Figura 37: Esparcidor Autopropulsado de Áridos (Chips).

El esparcidor autopropulsado generalmente cuenta con una pantalla de cribado en la parte superior de la tolva de esparcimiento, lo que permite el cribado de material de gran tamaño que podría ingresar a la tolva receptora desde el camión. Alternativamente, se puede usar una pantalla inclinada para permitir que los áridos más grandes caigan primero sobre la superficie bituminosa, con los áridos más finos cayendo después a través de la pantalla. Esto asegurará que los áridos más grandes estén suficientemente incrustados en el asfalto para mantenerlos en su lugar.

Un esparcidor autopropulsado tiene la ventaja de poder seguir de cerca al distribuidor de asfalto con un mínimo de paradas para cambiar camiones de áridos. Otras ventajas del esparcidor autopropulsado son el considerablemente mayor ancho y velocidad de esparcimiento, así como un mejor control, ya que solo se necesita configurar y controlar una máquina. Las desventajas de un esparcidor autopropulsado de áridos son el costo, la dificultad de maniobrar en áreas muy estrechas y el transporte, ya que necesita ser transportado en camión hasta el lugar de trabajo.

4.19 Planta de Dosificación y Mezcla de Concreto

4.19.1 Una Planta de Dosificación y Mezcla de Concreto combina diversos ingredientes como arena, agua, áridos, productos químicos y aditivos minerales (ceniza volante, plastificantes, etc.) y cemento por peso para formar concreto. El objetivo es producir concreto homogéneo y uniforme, como lo indican propiedades físicas como peso unitario, asentamiento, contenido de aire y resistencia en lotes individuales y lotes sucesivos de las mismas proporciones de mezcla. La capacidad de la planta se mide en metros cúbicos por hora y depende de la capacidad de la mezcladora, el número de mezcladoras, el tiempo de carga, mezcla y descarga de cada mezcladora.

4.19.2 La clasificación de la planta de dosificación y mezcla de concreto según diferentes criterios se indica en la **Tabla 20**

Tabla 20: Clasificación de Planta de Dosificación y Mezcla de Concreto

Sl. No.	Base/Criterio	Clasificación
1.	Movilidad	i) Estacionario ii) Móvil
2.	Dosificadores	i) Manual ii) Semi-Automático iii) Automático
3.	Mezclador	i) Mezclador de tambor/ caída libre a) Inclinación b) No basculante c) Reversible d) Auto cargador ii) Mezclador de potencia a) Mezclador de paletas o eje vertical b) Mezclador de canal o eje horizontal

4.19.3 Una planta de dosificación y mezcla de concreto central (estacionaria) (**Figura 38**) prepara la mezcla de concreto, después de lo cual se carga en un camión o mezcladora de tránsito para su transporte al lugar de trabajo. Una planta pequeña puede tener una producción tan baja como 12 m^3/h, las plantas medianas pueden tener una producción en el rango de 30 a 100 m^3/h y las plantas más grandes pueden tener una producción de más de 100 m^3/h. En India, también están disponibles plantas con una producción de más de 300m^3/h.

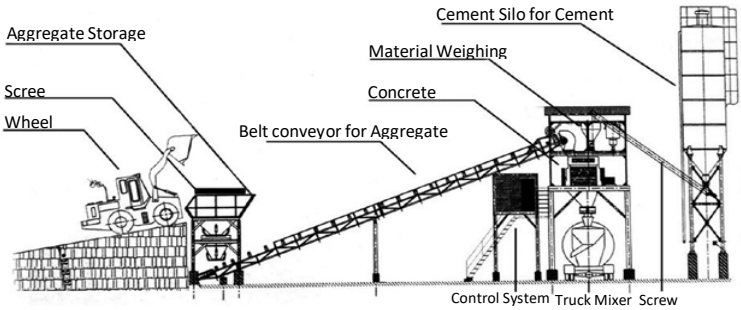


Figure 38: Planta de Dosificación y mezcla de concreto (Estacionaria)

Unidad de almacenamiento agregado, Pantalla, Pala cargadora, Sitio de cemento para almacenamiento de cemento, Sistema de pasaje de materiales, Hormigonera, Cinta transportadora para alimentación de áridos.

La planta consta de los siguientes componentes principales:

i) Equipo de almacenamiento
   a) Almacenamiento de áridos (Tipo estrella, tipo de comportamiento o tipo línea)
   b) Almacenamiento de cemento (Almacenamiento en almacén o Almacenamiento en silo)
   c) Almacenamiento de agua
   d) Almacenamiento de Aditivos

ii) Equipo de Dosificación (dosificación basada en celdas de carga de cemento, áridos, agua y aditivos) - Para plantas de dosificación de concreto con una capacidad inferior a 20 m³/h, los áridos, la arena y el cemento pueden ser pesados uno tras otro de manera acumulativa en la misma báscula, mientras que para plantas de dosificación de concreto con una capacidad superior a 20 m³/h, se proporcionan básculas individuales para cada ingrediente. La medición de agua y aditivos se prefiere por peso. Sin embargo, para plantas con capacidad de hasta 30 m³/h, el agua y los aditivos pueden medirse por volumen. La planta de dosificación debe tener la capacidad de inyectar al menos dos aditivos en la paleta de mezcla.

iii) Transportadores

iv) Mezcladora

v) Sistema de control - Las indicaciones como condiciones de operación, señales de falla, etc., se pueden mostrar fácilmente en la pantalla de la computadora con la ayuda de SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos). Este software hace que el almacenamiento de datos e impresiones sea muy flexible y fácil. El peso en vivo de los ingredientes en las tolvas de pesaje se

actualiza continuamente en la computadora junto con el estado operativo de varios equipos. El sistema basado en SCADA con tecnología GPRS proporciona datos de lotes en tiempo real al servidor del cliente.

El concreto se considera adecuadamente mezclado si las muestras tomadas de diferentes porciones de un lote tienen esencialmente el mismo peso unitario, contenido de aire, asentamiento y contenido de áridos gruesos dentro de los límites permisibles.

La acción de mezcla del concreto implica dos operaciones:

i) Una mezcla general de diferentes tamaños de partículas de los ingredientes para que estén uniformemente distribuidos en toda la masa de concreto.

ii) Una acción vigorosa de frotamiento de la pasta de cemento sobre la superficie de las partículas inertes del árido.

El diagrama de flujo de operación de una planta de dosificación y mezcla de concreto se muestra en la **Figura 39**.

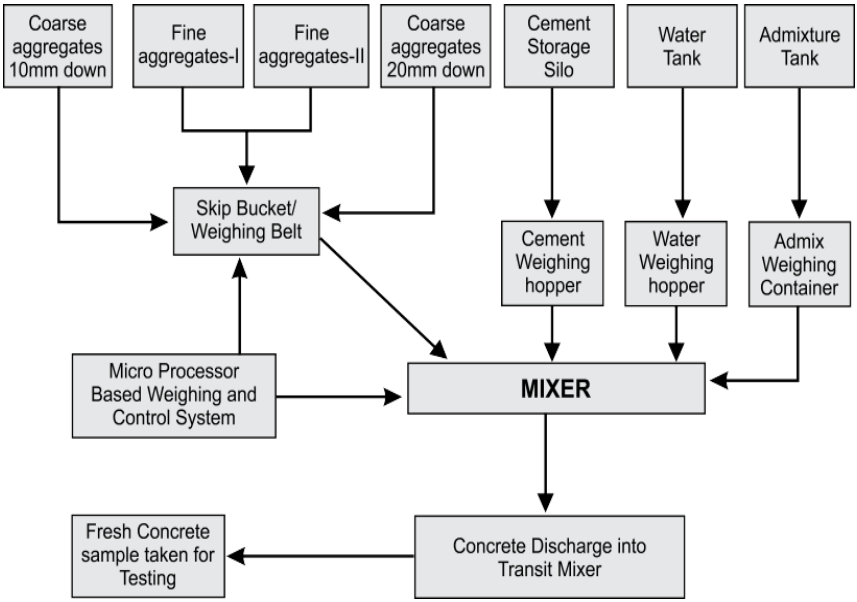


Figura 39: Diagrama de flujo de Operación de una Planta de Dosificación y mezcla de concreto

Áridos gruesos 10 mm hacia abajo, Agregados finos-I, Agregador finos-II, Áridos gruesos 20 mm hacia abajo, Sitio de almacenamiento de cemento, Depósito de agua, Tanque de mezcla, Balde de salto/Cinturón de pesaje, Tolva de pesaje de cemento, Tolva de pesaje de agua, Contenedor de pesaje de mezcla, Sistema de control y pesaje basado en microprocesador.

4.19.4 Una planta portátil de dosificación y mezcla de concreto generalmente se construirá sobre un remolque de camión que tenga la estructura que lleva dosificadores, mezcladora, transportador y equipo de control para facilitar el transporte de un sitio a otro.

4.19.5 Las mezcladoras de concreto son adecuadas para trabajos más pequeños.

4.19.6 El tiempo y la capacidad mínimos de mezcla para diferentes tipos de mezcladores se indican en **Tabla 21**.

Tabla 21: Tiempo de mezcla y capacidades de diferentes Mezcladoras de concreto.

Sl. No.	Tipo de mezcladora	Uso	Capacidad de la mezcladora (en litros)	Tiempo Mínimo de Mezcla (en segundos)
1.	Tipo de Tambor Reversible sin inclinación	Baja trabajabilidad, gran tamaño de áridos, obras pequeñas	375, 500, 750, 1000, 1500, 2000	40
2.	Tipo de sartén	Grandes proyectos y obras de Prefabricados	375, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 3000	30
3.	Tipo de Eje Único / Tipo de Doble Eje / Tipo Compulsivo / Tipo de Molino Mezclador	Grandes obras	1000, 1250, 1000,1250, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 5000, 6000	30

4.19.7 El rango típico de especificaciones para una planta de dosificación de concreto de indican en la **Tabla 22**.

Table 22: Especificaciones para la Planta de dosificación del concreto

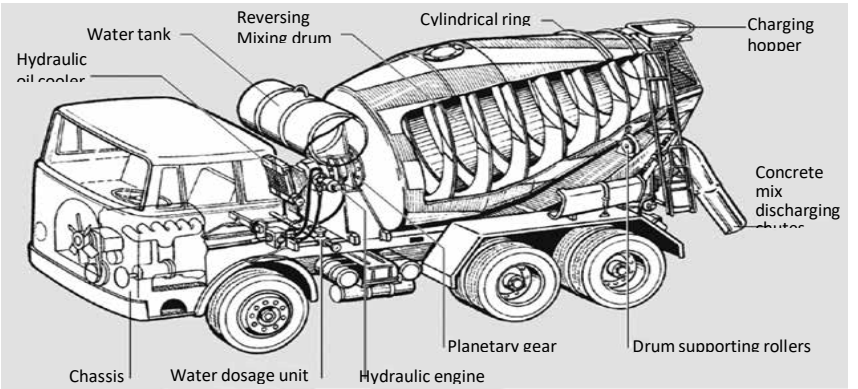
Sl. No.	Equipo	Especificaciones	Rango
1.	Planta estacionaria	Capacidad	12 - 360 m^3/h
		Número de lotes	40 - 60 ciclos/hora
		Capacidad de la mezcladora	0.5 - 6 m^3
2.	Planta móvil	Capacidad	18 - 140 m^3/h
		Recuento de lotes	40 - 60 ciclos/hora
		Capacidad de la mezcladora	0.5 - 6 m^3

4.19.8 Para obtener más información sobre la planta de dosificación y mezcla de concreto y las mezcladoras de concreto, consulte IRC: SP:86.

4.20 Mezcladora de Tránsito

4.20.1 La mezcladora de tránsito se utiliza para transportar concreto desde la planta de dosificación y mezcla de concreto hasta el lugar de trabajo. Evita la segregación del concreto ya mezclado durante el transporte mediante la agitación, como resultado de la lenta revolución del tambor.

4.20.2 La mezcladora de tránsito (**Figura 40**) tiene un tambor giratorio con el eje inclinado con respecto a la horizontal. Dentro de la carcasa del tambor de la mezcladora hay un par de palas (con dirección opuesta de hélice) que se envuelven en una configuración helicoidal (espiral) desde la cabeza hasta la abertura del tambor. El tambor está montado en dos juegos de rodillos gemelos con una



cubierta adecuada para protección contra polvo/suciedad.

Figura 40: Mezcladora de tránsito

Hidráulica, Depósito de agua, Mezcla inversa, Cilíndrico, Cargando, Canales de descarga de mezcla de concreto, Chasis, unidad de dosificación de agua, Hidráulico Planetario, Soporte de tambor.

El tambor es girado por una caja de engranajes planetarios de baja velocidad atornillada en el extremo cerrado del tambor de la mezcladora, la cual es alimentada por un motor hidráulico de tipo reversible de alto torque a través de una bomba hidráulica de desplazamiento variable. El sistema de transmisión del tambor debe ser de tipo hidrostático y a través de una unidad de toma de fuerza desde el motor del vehículo mismo o un motor diésel separado.

La mezcladora de tránsito también está equipada con un tanque de agua para suministrar agua de enjuague al tambor de la mezcladora.

El depósito de carga en el extremo abierto de la mezcladora debe permanecer estacionario y estar adecuadamente soportado en posición concéntrica con la abertura del tambor. Puede estar equipado con un sistema de placa de cierre del tambor para evitar derrames, especialmente en terrenos montañosos, sobre todo cuando se utiliza concreto de mayor fluidez.

El conducto de descarga consta de un conducto fijo en forma de U y un conjunto de conductos distribuidores plegables. El conducto distribuidor es del tipo abatible con extensiones plegables. El mecanismo de apertura evita la necesidad de retirar o reemplazar el conducto para la descarga directa en formas altas, tolvas o recipientes. Deberá proporcionarse un medio para bloquear los componentes del conducto distribuidor en su posición cuando la mezcladora esté en movimiento. El conducto distribuidor estará equipado con un sistema de elevación tipo trinquete, tornillo mecánico o hidráulico para facilitar su posicionamiento rápido.

4.20.3 El movimiento de las aspas helicoidales evita la segregación del concreto cuando el tambor gira en una dirección y provoca su descarga cuando se invierte la dirección de giro. El tambor de mezcla puede girar a diferentes velocidades de rotación: a la velocidad más alta durante el llenado o vaciado y a la velocidad más baja durante el transporte. Por esta razón, comúnmente se utiliza un sistema de accionamiento hidráulico para la rotación del tambor. Después de cargar el concreto, normalmente se transporta al sitio de trabajo con el tambor girando a una velocidad en el rango de 2 a 6 rpm.

Durante el desplazamiento de la mezcladora en caminos temporales/irregulares, la velocidad del tambor no debe superar los 4 rpm y la velocidad del camión no debe exceder los 20 km/h para evitar accidentes por vuelcos. Sin embargo, en caso de buenas condiciones de la carretera, la velocidad del tambor puede aumentarse a 6 rpm y la velocidad del camión a 40 km/h.

4.20.4 El factor que limita la distancia sobre la cual se puede transportar la mezcla de concreto mediante las mezcladoras de tránsito es el tiempo de fraguado, determinado principalmente por la temperatura ambiente, la temperatura de la mezcla y el tipo de cemento.

El concreto debe descargarse de la mezcladora de tránsito dentro de los siguientes límites de tiempo después de recibirlo de la planta de dosificación y mezcla de concreto:

i) Dentro de 1.5 horas cuando la temperatura atmosférica esté por encima de 20 grados Celsius.
ii) Dentro de 2 horas cuando la temperatura atmosférica esté igual o por debajo de 20 grados Celsius.

4.20.5 El tamaño de una mezcladora de tránsito se indica por la capacidad nominal del lote de su tambor mezclador.

Sin embargo, cabe señalar que la capacidad de carga de la mezcladora se reducirá con concretos de mayor fluidez y/o una pendiente ascendente en la carretera.

4.20.6 Las especificaciones típicas para la mezcladora de tránsito utilizada en el sector de carreteras se indican en la in **Tabla 23**.

Tabla 23: Especificaciones para el mezclador Transit

Sl. No.	Especificaciones	Rango
1.	Capacidad	2 - 10 cum
2.	Velocidad del tambor	0 -14 rpm
3.	Tanque de agua	200 - 650 litros
4.	Angulo del tambor	12 -15 grados
5.	Índice de llenado	50 - 59 %

4.20.7 Para obtener más información sobre mezcladoras de tránsito, consulta la norma IS:5892.

4.21 Colocador/Esparcidor de Concreto

4.21.1 Coloca una cantidad medida de mezcla de concreto frente a la pavimentadora de concreto mediante una serie de cintas transportadoras, tornillos sin fin, arados y dispositivos de nivelación. El uso de un colocador/esparcidor permite al contratista recibir material de los vehículos de transporte y colocar una cantidad uniforme de mezcla de concreto frente a toda la anchura de la pavimentadora, minimizando al mismo tiempo la segregación.

4.21.2 Los camiones volquete que transportan concreto normalmente no deben circular sobre láminas de plástico ni sobre losas terminadas hasta después de 28 días desde la colocación del concreto.

La colocación de concreto frente a la pavimentadora PQC debería preferiblemente realizarse desde el colocador lateral para evitar daños al DLC por parte de los camiones volquete que descargan concreto. En caso de situaciones inevitables, se puede permitir que los camiones que suministran concreto a la pavimentadora circulen sobre el DLC con la aprobación del Ingeniero.

4.21.3 La subbase debe ser humedecida completamente antes de la esparcidora para evitar la pérdida rápida de agua del concreto. Se debe tener cuidado para asegurarse de que se coloque la cantidad correcta de concreto; un exceso sobrecargará la pavimentadora siguiente, y una cantidad insuficiente resultará en la necesidad de detener el pavimentado mientras se añade material adicional.

La distancia entre la esparcidora y la pavimentadora es importante y debe

mantenerse lo más corta posible, ya que el concreto se endurecerá en aproximadamente 20 minutos.

4.21.4 El tiempo total, desde la adición de agua a la mezcla hasta la finalización del acabado superficial y texturizado, no debe superar las 2 horas cuando la temperatura del concreto sea inferior a 25°C y 1.5 horas cuando la temperatura del concreto esté entre 25°C y 30°C.

4.21.5 Para obtener más información sobre la esparcidora de concreto, consulta la norma IS:7242.

4.22 Pavimentadora de Concreto

4.22.1 Hay dos métodos básicos para pavimentar pavimentos de concreto: pavimentación por deslizamiento y pavimentación por formas fijas.

4.22.2 Pavimentadora por Deslizamiento (Figuras 41 y 42) – El pavimento de encofrado deslizante es definido como un proceso utilizado para consolidar, dar forma geométrica y terminar la superficie de una masa de PQC tirando de los moldes continuamente a través y rodeando la masa de hormigón plástico. Adoquín de encofrado deslizante Es más apropiado para trabajos más grandes que requieren altas tasas de producción. La pavimentadora de encofrado deslizante generalmente utiliza líneas de hilo/cables guía para la línea y la pendiente. control. La unidad de extendido está equipada con sensores en sus cuatro esquinas. La alineación de la pavimentadora se controlará automáticamente desde el cable guía mediante al menos un conjunto de sensores conectados a la pavimentadora. El alineación y nivel de máquinas auxiliares para acabado, texturizado y El curado del hormigón se controlará automáticamente en relación con el alambre guía o a la superficie y borde de la losa.

KEY:
1. Telescoping Machine Frame, 2. Self-loading Feature, 3. Longitudinal Joint Tie Bar Inserter, 4. Operator's Platform, 5. Power Unit, 6. Concrete Spreading, 7. Vibrators, 8. Inset Paving Moulds, 9. Dowel Bar Inserter, 10. Side Tie Bar Inserter, 11. Oscillating Beam, 12. Super smoother, 13. Track Units

Figura 41: Pavimentadora de Concreto con Forma Deslizante

1. Bastidor telescópico de la máquina, 2. Función de autocarga, 3. Insertador de barra de unión para juntas longitudinales, 4. Plataforma del operador, 5. Unidad de potencia, 6. Extensión de concreto, 7. Vibradores, 8. Moldes de pavimentación insertados, 9. Barra de pasador insertador,10. Insertador de barra de unión lateral, 11. Viga oscilante, 12. Súper suave, 13. Unidades de riel

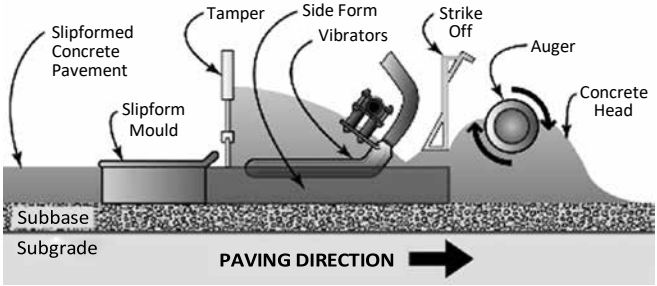


Figura 42: Vista en Sección de Pavimentadora de Concreto con Forma Deslizante

Pavimento de hormigón antideslizante, Afilar, Forma lateral, Vibradores, Cortar, Barrena, Cabeza de hormigón, Molde deslizante, Subbase, Subrasante, Dirección de pavimentación.

Los componentes de la pavimentadora de concreto con forma deslizante son:

i) Distribuidor (sinfín o arado)
ii) Puerta de Medición/Panel Frontal
iii) Vibradores para compactación
iv) Molde y formas deslizantes
v) Insertador de Barra de Transferencia (DBI), Insertador de Barra de Unión Central (CTBI), Insertador de Barra Lateral (STBI)
vi) Viga oscilante
vii) Super alisador/Flotador Automático para el acabado de la superficie
viii) Unidad de rociado de compuesto texturizarte y curado

La pavimentación mediante el método de slip form se lleva a cabo mediante el uso de varias máquinas autopropulsadas en una línea, comúnmente conocida como un tren de pavimentación.

La primera máquina en la línea es una colocadora/distribuidora de concreto, que facilita la colocación inicial del concreto sin segregación en toda el área de pavimentación y hasta una altura que en todo momento sea mayor que la sobrecarga requerida, antes de la segunda máquina, que es la pavimentadora de concreto con forma deslizante. A veces, esta primera máquina se elimina si el concreto puede ser depositado directamente frente a la pavimentadora desde la unidad de entrega de concreto o si se instala un accesorio de colocación de concreto en la parte frontal de la pavimentadora de concreto con forma deslizante.

La pavimentadora de concreto con forma deslizante generalmente realiza el reglaje, consolidación y acabado inicial. Algunas pavimentadoras están equipadas para colocar acero de refuerzo (si es necesario), barras de transferencia y barras de amarre también. Las pavimentadoras de concreto con forma deslizante utilizan su propio peso para dar forma al concreto plástico en la forma correcta.

La pavimentadora esparce/distribuye uniformemente el concreto en toda el

área de pavimentación utilizando un sinfín o arado, nivelando la parte superior del concreto para el sobrecargo promedio y diferencial necesario para alimentar el molde que da forma al pavimento en la configuración geométrica adecuada y consolida el concreto con vibradores internos. El equipo para nivelar el concreto debe ser capaz de ajustarse rápidamente a cambios en el sobrecargo promedio y diferencial necesarios debido a cambios en el grosor de la losa o en la pendiente transversal. Dependiendo del fabricante, algunas pavimentadoras de concreto con forma deslizante también utilizan lo que se conoce como una barra de apisonado. La barra de apisonado ayuda en la consolidación y el acabado al apisonar grandes agregados en la parte superior de la losa de concreto para evitar que el molde de la pavimentadora enganche el agregado y cause un desgarro en la parte superior de la losa.

Por lo general, la posición más efectiva para el vibrador es después del mecanismo de nivelación y en la elevación final de la losa. La mayoría de las pavimentadoras utilizan espaciado de vibrador completamente ajustable para adaptarse a diferentes condiciones y tipos de mezcla, al tiempo que proporcionan una superposición adecuada de la zona de influencia. La pavimentadora debe tener vibradores de salida variable con una potencia máxima de no menos de 2.5 kW por metro de ancho de losa por 300 mm de profundidad de la losa para una velocidad de colocación de hasta 1.5 m/min. Los vibradores deben operar a una frecuencia de 8000-10000 impulsos por minuto bajo carga con un espaciado máximo de 600 mm.

El acabado inicial se logra extruyendo la masa de PQC a través de un molde en movimiento compuesto por la capa base (parte inferior), las formas laterales (bordes verticales de la pavimentadora) y el molde (piezas planas de la pavimentadora montadas detrás del vibrador). Extruir el PQC a través de la forma rectangular resultante proporciona las dimensiones finales de la losa y también ayuda a incrustar partículas de agregado más grandes debajo de la superficie, lo que resulta en un acabado suave.

La colocación de barras de transferencia/amarre en sus ubicaciones preestablecidas se realiza a través del Insertador de Barra de Transferencia (DBI, por sus siglas en inglés) integrado en la máquina y el Insertador de Barra de Amarre (TBI).

La tercera máquina en el tren de pavimentación es un tubo alisador. Esta máquina alisa y sella la parte superior del pavimento al arrastrar tubos de aluminio montados diagonalmente hacia adelante y hacia atrás a lo largo de la parte superior del pavimento. Esta máquina a veces se elimina al adjuntar un super alisador/ flotador automático en la parte posterior de la pavimentadora de concreto con forma deslizante. El flotador automático viaja automáticamente a lo largo de la parte superior del pavimento mientras se balancea hacia adelante y hacia atrás simultáneamente para alisar y sellar la parte superior del pavimento. El objetivo de esta operación es minimizar las irregularidades superficiales causadas por varias razones como paradas frecuentes de trabajo, deformación de la superficie debido al flujo plástico, etc.

La última máquina en el tren es una Máquina de Texturizado y Curado (TCM) (**Figura 43**). Aunque equipos separados pueden ser utilizados para las operaciones de texturizado y curado, típicamente, en la mayoría de los casos, la pavimentadora de concreto con forma deslizante es seguida por una Máquina de Texturizado y Curado (TCM), que proporciona una macro textura y aplica una membrana de curado sobre el pavimento mientras el concreto aún está en estado plástico. La TCM puede estar montada sobre ruedas o sobre orugas con controles para un texturizado y curado longitudinal o transversal optimizado. El Equipo de Texturizado y la Unidad de Rociado de Compuesto de Curado se tratan por separado en las **Secciones 4.26** y **4.27** respectivamente.

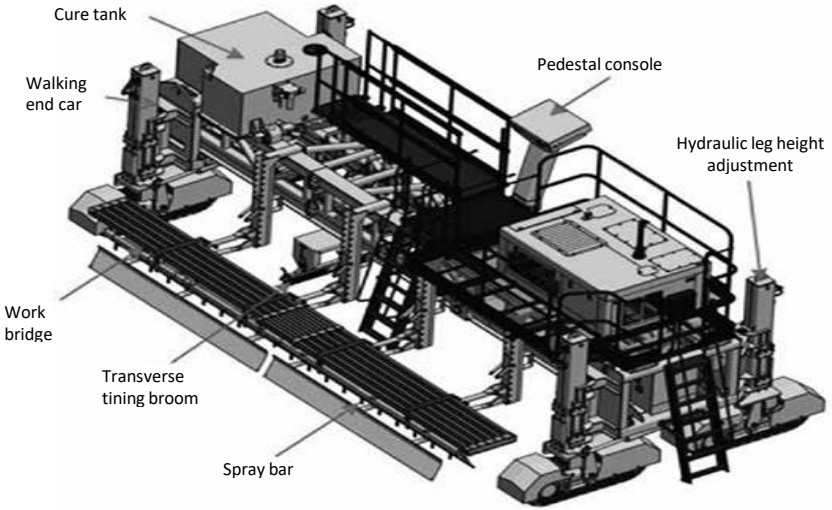


Figura 43: Máquina de Texturizado y Curado (TCM)

Tanque de curación, Coche final andante, Consola de pedestal, Ajuste hidráulico de la altura de las piernas, Puente de trabajo, Escoba de limpieza transversal, Barra de pulverización.

Ventajas de la pavimentación con forma deslizante:

i) **Uso de PQC de Bajo Asentamiento** – Es necesario utilizar PQC de bajo asentamiento del orden de 25 ± 10 mm para que el PQC fresco pueda mantener su forma una vez que ha pasado la pavimentadora con forma deslizante. El PQC de bajo asentamiento se puede elaborar con menos agua y generalmente tiene mayores resistencias a la compresión y flexión que las mezclas de alto asentamiento comparables.

ii) **Alta Productividad** – Trabajos grandes generalmente requieren tasas de producción elevadas.

iii) **Superficie de rodadura suave** – La automatización y el control por computadora permiten que la pavimentadora produzca una superficie de rodadura muy suave

Las especificaciones típicas para las pavimentadoras de molde deslizante se encuentran en la **Tabla 24**. La velocidad de pavimentación no deberá ser inferior a 1 m/min.

Table 24: Especificaciones para Adoquines de Encofrado Deslizante

Sl.No.	Especificaciones	Rango
1.	Ancho de pavimentación	2 – 16 m
2.	Espesor de pavimentación	0.4 – 0.5 m
3.	DBI (rango de diámetro/ rango de longitud)	20 – 40 mm/ 500 – 600 mm
4.	TBI (rango de diámetro/ rango de longitud)	20 – 40 mm/ 400 – 1200 mm

4.22.3 Adoquín de encofrado fijo (Figura 44) – A pesar de la velocidad y facilidad de encofrado deslizante, todavía hay aplicaciones en las que el adoquín de encofrado fijo es más práctico y rentable. Estos incluyen calles, intersecciones, caminos locales y complicados tramos cortos de aceras de ancho variable.

Figura 44: Pavimentadora de Concreto de Forma Fija

4.22.4 Los encofrados laterales estacionarios se utilizan en pavimentos de encofrado fijo para mantener el concreto en su lugar. Los encofrados se construyen hasta la línea y pendiente del pavimento terminado y deberán tener una profundidad igual al espesor del pavimento o un poco menos para adaptarse a la irregularidad de la superficie de la subbase. Los encofrados laterales para uso con máquinas pavimentadoras de ruedas incorporarán rieles metálicos

firmemente fijados a una altura constante debajo de la parte superior de los encofrados. Los encofrados deberán ser lo suficientemente robustos y rígidos para soportar el peso y la presión causados por el equipo de pavimentación. El encofrado debe consistir en canales de acero dulce para tramos rectos y secciones de madera reforzadas con ángulos de acero dulce para partes curvas. Las secciones fabricadas también están disponibles para encofrados como se indica en IRC:15

El tren de extendido de forma fija consta de máquinas motorizadas separadas que extienden, compactan y terminan el hormigón en una operación continua.

El concreto se descargará sin segregación hasta una densidad uniforme sin compactar mediante un esparcidor de tolva transversal. Está montado sobre un marco autopropulsado montado en rieles de modo que se mueve a través del marco y descarga concreto a una velocidad controlada sobre la subbase a medida que el marco avanza. Luego, la parte inferior de la tolva elimina el hormigón depositado hasta el nivel de sobrecarga deseado mientras regresa con el marco permaneciendo estacionario.

Al esparcidor le siguen convencionalmente un distribuidor (con paletas rotativas de enrasado) y una viga compactadora vibratoria transversal. Las paletas de enrasado recortan cualquier irregularidad menor de la superficie del hormigón sobrecargado. El haz de compactación vibratoria compacta completamente la capa y tiene amplitud y frecuencia ajustables para adaptarse a las características del PQC. Si es necesario, se utilizarán vibradores de póquer adyacentes a los encofrados laterales y bordes de la losa previamente construida. Después de la compactación, se hacen vibrar los pasadores y tirantes que no se han fijado previamente a la subbase hasta su posición. La viga de compactación vibratoria debe ajustarse para que golpee la superficie ligeramente alto de modo que la viga oscilante la corte hasta el nivel requerido. La máquina deberá poder ajustarse rápidamente a los cambios en la sobrecarga promedio y diferencial necesarios por cambios en el espesor de la losa o la caída transversal. El acabado final deberá poder terminar la superficie al nivel requerido y la suavidad especificada.

Las ventajas particulares de los adoquines de forma fija son:

i) Tolerancias ajustadas y claros laterales estrechos. Los bordillos existentes u otras características pueden ser utilizados como formas.

ii) Geometría personalizada. Las formas pueden ser colocadas en prácticamente cualquier geometría de pavimento, lo que permite múltiples cambios en el ancho del pavimento, curvas suaves, exclusiones y otras

irregularidades.

iii) Mejor planificación de la construcción. Las formas pueden ser colocadas de manera que la construcción escalonada pueda ser utilizada para mantener el flujo de tráfico o el uso de intersecciones.

iv) Abaratamiento de equipamiento y movilización. Los encofrados y los equipos son menos costosos que los equipos de pavimentación con encofrado deslizante. Si las operaciones de pavimentación son lo suficientemente pequeñas, los ahorros de costos en los pavimentos de forma fija pueden compensar con creces las mayores tasas de producción de los pavimentos de forma deslizante.

Para pavimentadoras con formas fijas, el ancho de pavimentación generalmente varía entre 2,74 y 15 m.

4.23 Vibrador de Concreto

4.23.1 Los vibradores de concreto se utilizan para compactar el Concreto de Calidad para Pavimentos (PQC) y el concreto estructural, y por lo tanto, eliminan los vacíos de aire. Además de consolidar el concreto para obtener una densidad máxima, también mezclen internamente las diferentes capas de concreto en una masa sólida única con pocos o ningún bolsillo de aire y sin líneas de separación en la superficie expuesta final. Después de decidir si utilizar la vibración interna o externa, se deben considerar los siguientes parámetros para hacer una elección adecuada:

i) Frecuencia
ii) Amplitud
iii) Poder y
iv) Tamaño

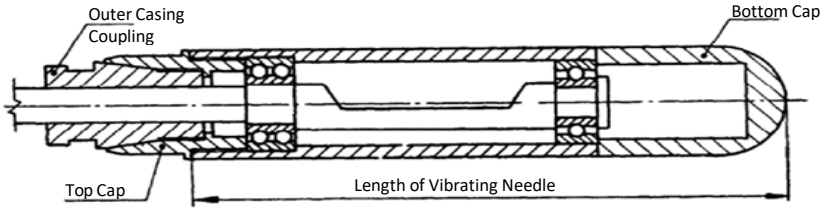
Dado que el concreto contiene partículas de diferentes tamaños, la compactación más satisfactoria se obtendría utilizando vibradores con diferentes velocidades de vibración.

4.23.2 Los diferentes tipos de vibradores de concreto se describen a continuación:

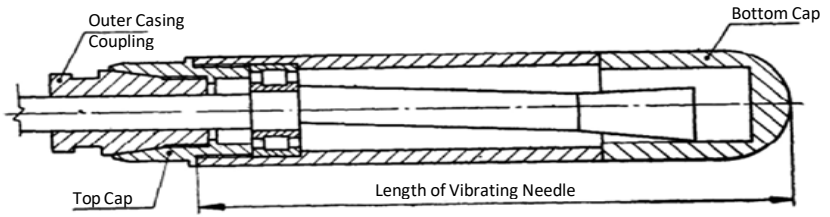
i) Vibradores Internos o de Inmersión o de Aguja

Es el vibrador más utilizado y se puede usar satisfactoriamente para la consolidación de concreto simple y armado al sumergir adecuadamente la aguja vibradora en el concreto ya sea de manera perpendicular o en un ángulo. Sin embargo, no se debe usar cuando el espesor del concreto sea inferior a 100 mm.

El vibrador interno (**Figuras 45** and **46**) consiste esencialmente en un tubo de acero (con extremo inferior cerrado y redondeado) que contiene una aguja vibradora en su interior. La aguja vibradora puede consistir en un eje excéntrico o en un conjunto de rotor y corredor (vibrador tipo péndulo). El motor principal está conectado directamente a la aguja vibradora en su cabeza a través de un eje flexible.



Typical Vibrating Needle with Eccentric Shaft



Typical Vibrating Needle with Rotor and Runner

Figura 45: Tipos de agujas vibradoras para vibrador interno

Cubierta exterior, Abajo, Arriba, Longitud de la aguja Vibratoria, Duración de la vibración

Figura 46: Vibrador Interno

El vibrador puede funcionar con cualquiera de las siguientes unidades de potencia:

a) Motor eléctrico, que acciona la aguja del vibrador a través de un eje flexible o situado en la cabeza del vibrador.

b) Motor de combustión interna que impulsa la aguja del vibrador a través de un eje flexible.

c) Motor de aire comprimido, situado cerca de la cabeza del vibrador.

El tamaño del vibrador de inmersión se indica por el diámetro exterior nominal de la aguja vibradora. El diámetro exterior nominal estándar de la aguja vibradora será de 25, 35, 40, 50, 60, 75 y 90 mm.

La frecuencia operativa y la medida óptima de amplitud en el centro de la aguja vibradora en condiciones de sin carga (operación en aire) para diferentes tamaños de aguja deberán ser según lo indicado en la **Tabla 25**.

Tabla 25: Parámetros de Rendimiento para Vibrador Interno

Sl. No.	Diámetro de la aguja vibradora (en mm)	Frecuencia de Vibración (en Hz)	Amplitud (in mm)	
			Vibración Tipo Eje Excéntrico	Vibración Tipo Péndulo
1.	25 – 35	200 – 270	0.85 – 0.55	0.65 – 0.40
2.	40 – 60	150 – 200	1.10 – 0.75	0.85 – 0.55
3.	75 – 90	100 – 150	1.60 – 1.30	1.20 – 0.95

Para obtener más información sobre vibradores internos, consulta la normativa IS:2505 y IS:3558.

ii) Vibradores Externos o de Obturador o de Forma

Estos vibradores se sujetan rígidamente al encofrado en puntos preestablecidos para vibrar el encofrado y el concreto. Consuma más energía para obtener un efecto de compactación dado que los vibradores internos.

Estos vibradores pueden compactar hasta 450 mm desde la superficie, pero deben ser movidos de un lugar a otro a medida que avanza el hormigonado. Los vibradores externos se utilizan más a menudo para la prefabricación de secciones delgadas in situ de tal forma y grosor que no pueden ser compactadas por vibradores internos. Las mezclas muy rígidas responden mejor a

una amplitud alta y frecuencia baja. El uso de alta frecuencia tiende a proporcionar una mejor apariencia superficial.

Los vibradores externos se clasifican según la frecuencia, la fuente de energía y la estructura, tal como se indica en la **Tabla 26**.

Tabla 26: Clasificación de Vibrador Externo

Sl. No.	Clase	Frecuencia	Fuente de Alimentación	Estructura
1.	NF	Frecuencia Normal	Motor Eléctrico	Tipo Fijo
				Tipo Removible
2.	HF	Alta Frecuencia		Tipo Fijo
				Tipo Removible
3.	P	-	Neumático	Tipo Fijo
				Tipo Removible
4.	H	-	Hidráulico	Tipo Fijo
				Tipo Removible

Un vibrador externo eléctrico (**Figura 47**) es aquel en el que el motor principal es un motor eléctrico. Puede

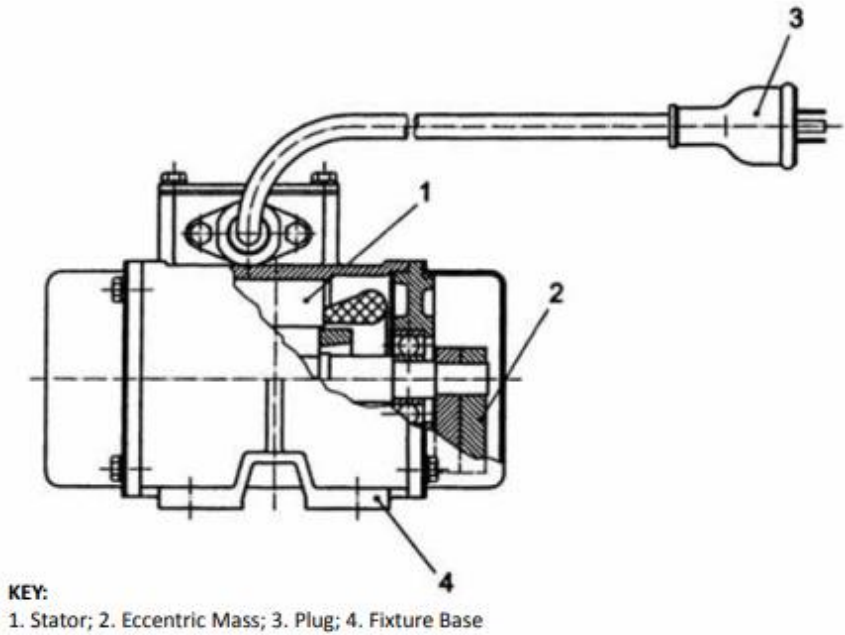
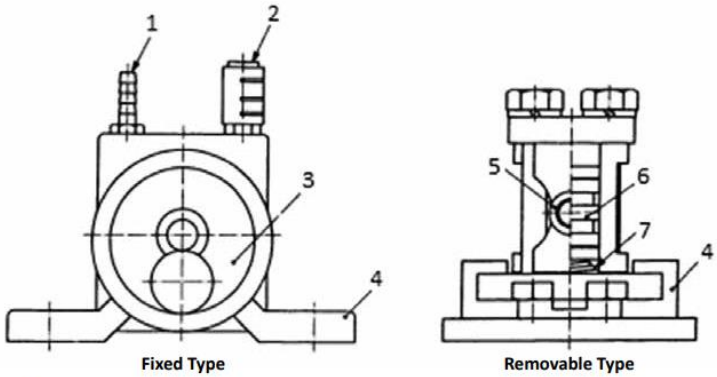


Figura 47: Vibrador eléctrico externo (tipo fijo)

1. Estator; 2. Masa excéntrica; 3. Enchufe; 4. Base del accesorio

Existen dos tipos - Alta Frecuencia (HF) y Frecuencia Normal (NF). El vibrador de Alta Frecuencia opera a una frecuencia de 70 Hz y superior, típicamente utilizando un motor de inducción alimentado desde un convertidor. El vibrador de Frecuencia Normal opera a una frecuencia por debajo de 70 Hz, utilizando un motor de inducción alimentado con la corriente de la frecuencia de la red eléctrica.

Un vibrador externo neumático (**Figura 48**) Opera según el principio de una turbina sin cojinete con accionamiento neumático. Normalmente, cuenta con un generador de vibraciones rotativas en forma de casquillo o bola ubicado en una carcasa, que rueda sobre un eje fijo. El conjunto del vibrador está compuesto por el vibrador en sí, una manguera de suministro con una llave de paso para encendido/apagado, y varios accesorios para usar con encofrados de tipo metálico y de madera. La llave de paso para encendido/apagado permite cambiar los parámetros de vibración.



KEY:
1. Hose Stern; 2. Silencer; 3. Ball; 4. Fixture Base; 5. Cylinder; 6. Piston; 7. Spring

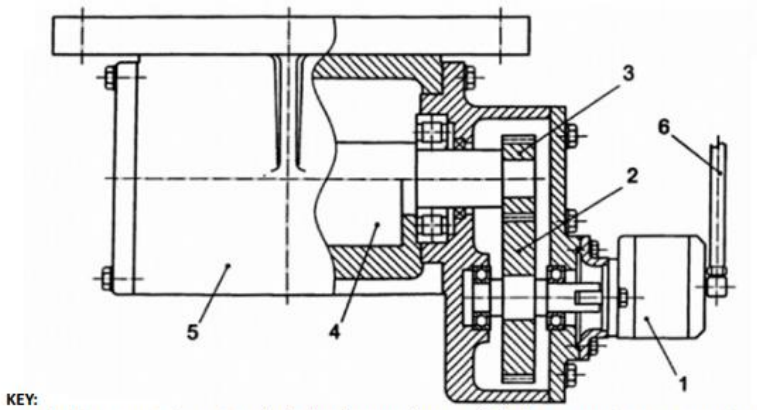
Figura 48: Vibrador Externo Neumático

1. Manguera de popa; 2. Silenciador; 3. Bola; 4. Base del accesorio; 5. Cilindro; 6. Pistón; 7. primavera

Un vibrador externo hidráulico (**Figura 49**) consiste en una masa excéntrica rotativa acoplada directamente a un motor hidráulico especialmente diseñado. Viene suministrado con un alimentador que contiene una bomba hidráulica, controles de presión y flujo, con el objetivo de regular de manera precisa la frecuencia de vibración según los requisitos específicos.

Un vibrador fijo es aquel que se fija directamente al objeto vibrante mediante roscas.

Un vibrador removible es aquel que se fija al objeto vibrante de manera indirecta mediante un dispositivo de sujeción y liberación rápida.



KEY:
1. Hydraulic Motor; 2. Gear; 3. Toothed Wheel mounted on Roto's Shaft; 4. Eccentric Mass; 5. Housing; 6. Hydraulic Supply Hose

Figura 49: Vibrador Externo Hidráulico

1. Motor hidráulico; 2. Engranaje; 3. Rueda Dentada montada sobre Eje de Roto; 4. Masa excéntrica; 5. Vivienda;6. Manguera de suministro hidráulico

Se deben utilizar vibradores externos con una potencia no inferior a 500 W para trabajos viales.

Para obtener más información sobre vibradores externos, consulta la normativa IS/ISO:18652.

iii) Vibradores de Superficie, de Regla o de Bandeja

Estos se colocan directamente sobre la masa de concreto. Son ideales para compactar pavimentos de concreto y elementos superficiales (por ejemplo, losas delgadas), donde el área a compactar es grande o el grosor es demasiado pequeño para permitir el uso de vibradores internos. Las mezclas muy secas pueden compactarse de manera más efectiva con vibradores de superficie.

El vibrador de Regla (**Figura 50**) consiste en una o más unidades vibradoras montadas en una tabla de regla (generalmente de tipo viga o travesaño). Está alimentado por una unidad de potencia integral adecuada, que puede ser un motor eléctrico o un motor de combustión interna. Se puede proporcionar un arreglo adecuado para ajustar las características de vibración de

la unidad vibradora, de manera que se asegure un rendimiento uniforme y constante del vibrador para todo el rango de condiciones de funcionamiento.

El vibrador de regla debería contar con un mecanismo para ajustar la curvatura por hundimiento del concreto que se produce debido a la amplitud de la vibración. Para compensar la depresión producida por el hundimiento, la superficie inferior de la regla debería tener una curvatura inversa. La cantidad de ajuste dependerá del alcance de la regla, el espesor y la trabajabilidad del concreto que está siendo vibrado.

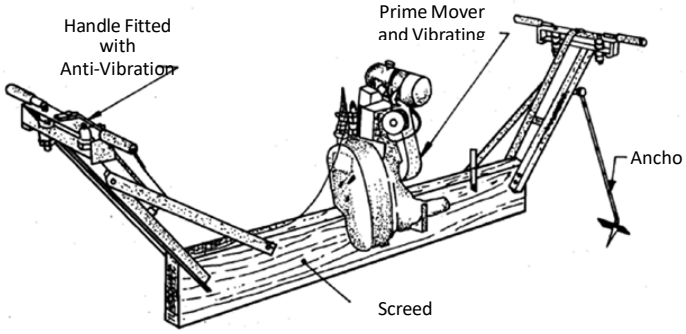


Figura 50: Vibrador de Regla

Mango equipado con resortes antivibración, Unidad motriz y vibratoria, Ancla, Tablero de enrasado.

El tamaño del vibrador de regla se designa por la longitud total de la tabla de regla. Los tamaños comunes son 3, 4 y 5 metros.

La frecuencia y amplitud del vibrador de regla en condiciones de no carga (operación en el aire) no deben ser inferiores a 3000 vpm (vibraciones por minuto) y 1.5 mm respectivamente para lograr una compactación satisfactoria.

Para obtener más información sobre vibradores de regla, consulta las normativas IS:2506 e IS:11993.

Tablero compactador manual – El compactador manual utilizado en lugar del vibrador de tabla de regla para compactar concreto en trabajos menores o como una medida de emergencia en caso de avería del vibrador de tabla de regla, debe consistir en una viga de madera dura de sección rectangular y peso suficiente para garantizar una compactación adecuada. Debe fijarse de forma segura con asas robustas para resistir la acción de

compactación. La cara inferior del tablero compactador debe ajustarse al perfil deseado de la sección transversal del pavimento y estar equipada con una zapata de acero suave de ancho apropiado, al igual que en el caso de la tabla de regla, para evitar el desgaste.

iv) Mesas Vibratorias

Las mesas vibratorias se utilizan generalmente para la compactación de unidades de concreto prefabricadas debido a las ventajas que ofrecen en cuanto a la uniformidad del tratamiento dado al moldeado. Con su uso, la vibración puede comenzar desde el momento en que el concreto se coloca en la base del molde, facilitando la expulsión del aire y aumentando la compactación de manera constante con la adición de cada lote de concreto.

Las mesas vibratorias pueden considerarse como un caso de encofrado sujeto al vibrador en lugar de ser al revés. Deben incluir todos los dispositivos que generen vibraciones horizontales, verticales o circulares rápidamente alternantes y sean capaces de transmitirlas a moldes llenos de concreto y colocados o sujetados en la parte superior de la mesa.

La mesa vibradora debe ser capaz de operarse ya sea a través de un rotor excéntrico impulsado por un motor principal, como un motor eléctrico, un motor de combustión interna, potencia neumática, o directamente por pulsadores electromagnéticos.

La frecuencia de vibración para la mesa operando a su capacidad máxima de carga deberá estar entre 3000 y 6000 vpm (vibraciones por minuto).

El tamaño de la mesa vibradora se designa por la longitud y anchura total de la parte superior de la mesa, expresada en metros. La capacidad se indica por el peso máximo, expresado en toneladas, del molde más el concreto en el molde, que puede ser efectivamente vibrado al operar la mesa con las características de vibración especificadas.

Las diferentes dimensiones y capacidades de las mesas vibratorias se indican en **Tabla 27**.

Tabla 27: Tamaños y capacidades de la mesa vibratoria

Sl. No.	Tamaño (in m)	Capacidad (in ton)
1.	1 x 1	0.25, 1.0
2.	2 x 1	0.5, 1.0
3.	3 x 1	1.5

Las recomendaciones para la calificación mínima de salida de la unidad de potencia para diversas capacidades de la mesa vibratoria se encuentran en **Tabla 28**.

Tabla 28: Clasificación de potencia de salida de la mesa vibratoria

Sl. No.	Capacidad (in ton)	Clasificación mínima de potencia de salida (in KW)
1.	0.25	0.75
2.	0.5	0.75
3.	1.0	1.5
4.	1.5	2.2

Para obtener más información sobre mesas vibratorias, consulta la normativa IS:2514.

4.24 Flotadora/espatuladora

4.24.1 Se utiliza para alisar el concreto compactado (PQC o concreto estructural) para obtener una superficie de concreto de alta calidad. El acabado o alisado final se llama paletoneado. Antes de la operación de paletoneado, puede ser necesario utilizar una regla para dar forma a la superficie de concreto a la elevación correcta, eliminando el exceso de concreto.

4.24.2 El flotador tradicional está hecho de madera dura o de una plancha de aluminio-magnesio, nivelada para obtener una superficie verdadera y fijada con un mango adecuado. El flotador mecanizado (flotador motorizado), además de la operación de acabado, también puede hacer que la superficie sea resistente a la abrasión mediante el uso de algún endurecedor comercial.

4.24.3 La operación de flotado mecanizado incluye dos pasos principales:

i) El flotado tiene como objetivo eliminar los granos de áridos sobresalientes, nivelar los abultamientos, rellenar cavidades y compactar la superficie del concreto. En esta etapa, las palas del flotador motorizado se mantienen planas.

ii) El paletoneado tiene como objetivo pulir, alisar y

endurecer la superficie del concreto. En esta etapa, las palas de la paletina motorizada están ligeramente inclinadas.

4.24.4 Los flotadores motorizados normalmente son de dos tipos: de un solo rotor (**Figura 51**) y doble rotor (**Figura 52**).

Un flotador motorizado de un solo rotor es del tipo que se maneja desde atrás y consiste en un disco o rotor (con 4 a 6 aspas) que es accionado por un motor de combustión o un motor eléctrico. El uso de un motor de combustión permite un control continuo de la velocidad de rotación de la herramienta de flotado, mientras que, en un motor eléctrico de dos pasos, uno debe seleccionar la velocidad de rotación apropiada según sea necesario (flotado inicial o flotado final). El ángulo de inclinación de la cuchilla se puede ajustar desde el mango largo conectado a la herramienta de flotado.

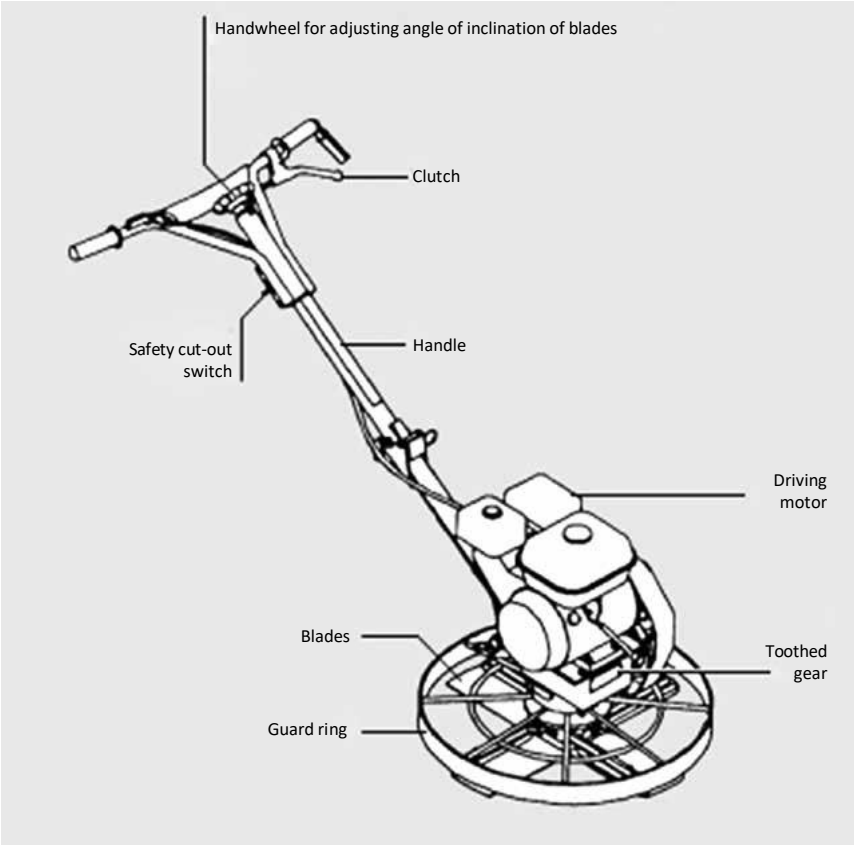


Figura 51: Flotador Motorizado de Un Solo Rotor

Embrague, Interruptor de seguridad, Manejar, Motor de accionamiento, Engranaje dentado, Cuchillas, Anillo de guardia.

Un flotador eléctrico de doble rotor es del tipo montado y consta de dos rotores, que pueden estar superpuestos o no superpuestos. Es más grande y pesado que el flotador eléctrico de un solo rotor y se utiliza para el alisado de superficies extensas.

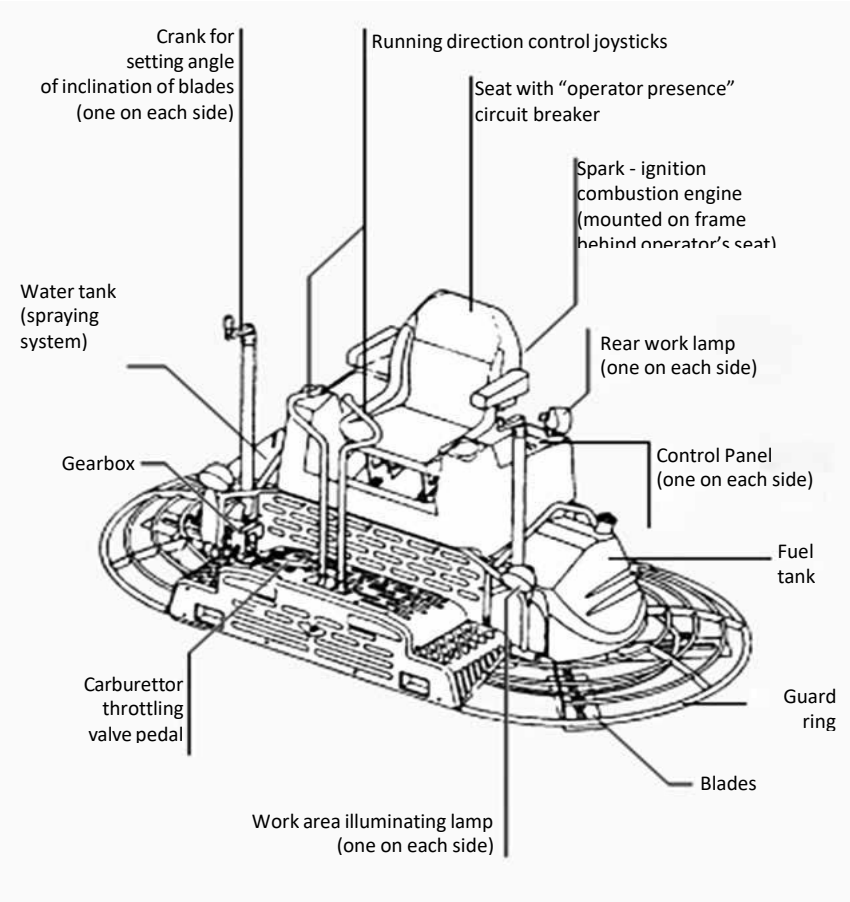


Figura 52: Flotador eléctrico de doble rotor

Manivela para ajustar el ángulo de inclinación de las palas (una a cada lado), Joysticks de control de dirección de marcha, Asiento con disyuntor "presencia del operador", Tanque de agua (sistema de pulverización), Lámpara de trabajo trasera (una a cada lado), Caja de cambios, Panel de control (uno a cada lado), Pedal de la válvula de mariposa del carburador, Lámpara iluminadora del área de trabajo (una a cada lado), Cuchillas, Anillo de guardia, Depósito de combustible.

4.25 Fresadora

4.25.1 La fresadora (**Figura 53**) se utiliza para la reducción y acabado del concreto. Se emplea con los siguientes propósitos:

i) Fresar elevaciones o nivelar juntas desiguales

ii) Eliminación de materiales de la superficie de concretos salientes

iii) Eliminación de concreto descascarado o deteriorado

4.25.2 El escarificador utiliza aire comprimido para golpear las puntas montadas en pistón en la superficie de concreto. Puede ser de mano, tipo empuje o autopropulsado.

Figura 53: Fresadora (Tipo de empuje)

4.26 Equipo de Texturización

4.26.1 La textura superficial es necesaria para proporcionar resistencia al deslizamiento. La texturización se logra mediante el uso de un dispositivo de ranurado (**Figura 54**) o un cepillo/barrido texturizador u otro medio adecuado aprobado por el Ingeniero del Sitio. El equipo de texturización debe ser capaz de moverse sobre la losa de concreto en dirección transversal o longitudinal. Se utiliza una viga/puente de madera o acero para abarcar (atravesar sin tocar) las losas recién formadas, permitiendo a los albañiles llevar a cabo las operaciones de acabado en la superficie del concreto compactado.

Figura 54: Dispositivo Mecánico de Ranurado

4.26.2 La viga/puente montado con púas deberá estar equipada y operada con dispositivos automáticos de detección y control desde la pavimentadora principal o la unidad auxiliar.

La unidad de ranurado deberá contar con la capacidad para ajustar la presión hacia abajo en las púas según sea necesario para lograr el acabado deseado.

En el caso de ranurado transversal, se utilizará una viga de al menos 3 m de longitud montada con púas. Las ranuras producidas deberán tener un espaciado aleatorio, pero ser uniformes en ancho y profundidad. El espaciado deberá cumplir con un patrón mostrado en la **Figura 55**.

10	14	16	11	10	13	15	16	11	10	21	13	10

Figure 55: Espaciado Aleatorio (en mm) para el Ranurado Transversal

En el caso de ranurado longitudinal, el puente de texturización deberá ser lo suficientemente ancho como para cubrir todo el ancho de la calzada, pero dentro de los 75 mm desde el borde del pavimento. El espaciado entre centros de las púas deberá ser de 18 a 21 mm.

Las ranuras producidas por las púas deberán tener un ancho de 3 mm y una profundidad de 3 a 4 mm, tanto para el ranurado transversal como para el longitudinal.

4.26.3 En el caso de la texturización con cepillo, se utilizará un cepillo metálico de al menos 450 mm de ancho para cepillar uniformemente a lo largo de la losa en una dirección. Normalmente, se prefieren cepillos más anchos de 3 m de longitud. El cepillo estará hecho de alambres de cinta de calibre 32 agrupados juntos en mechones colocados a intervalos de 10 mm. Los mechones contendrán un promedio de 14 alambres y tendrán inicialmente una longitud de 100 mm. El cepillo tendrá dos filas de mechones. Las filas estarán separadas por 20 mm y los mechones en una fila estarán opuestos al centro del espacio entre los mechones en la otra fila. El cepillo se deberá reemplazar cuando el mechón más corto se desgaste hasta una longitud de 90 mm.

4.26.4 Antes de comenzar la texturización, se deberá eliminar el agua de sangrado, si la hubiera, mediante medios adecuados, y la texturización se realizará en una superficie firme.

4.27 Pulverizador de Compuesto de Curado

4.27.1 El pulverizador de compuesto de curado (**Figura 56**) consiste en un conjunto de tanque para almacenar el compuesto de curado y una manguera que puede montarse en un bastidor que facilita el movimiento del equipo. También puede estar provisto de una bomba que ayuda a generar la tasa y presión requeridas. En algunos equipos, también se pueden ajustar las configuraciones de presión.

Figura 56: Pulverizador de compuesto de curado

4.27.2 El pulverizador de compuesto de curado deberá incorporar un dispositivo mecánico eficiente para la agitación continua y mezcla del compuesto durante la pulverización.

4.28 Cortadora/Sierra de Diamante

4.28.1 Una Cortadora/Sierra de Diamante (**Figura 57**) se utiliza para cortar, ranurar o moler concreto, asfalto, piedra o trabajos de albañilería. Puede ser de mano o autopropulsada y puede funcionar con electricidad o con motor a gasolina/diésel.

Figure 57: Sierra de Diamante

1. caminar detrás de la sierra, 2. sierra de mano

Como sugiere el nombre, el corte se facilita mediante la acción de molienda utilizando una hoja de diamante giratoria montada en un eje y sujeta firmemente en su lugar entre dos collares o bridas. Una hoja de diamante está compuesta por dos partes básicas:

i) Un núcleo de acero, que tiene la forma de un disco circular de acero.

ii) Segmento o aro de diamante, que está compuesto por cristales de diamante dispersos a través de una matriz metálica y se une al núcleo de acero mediante soldadura fuerte, soldadura láser o unión por difusión del aro al núcleo.

4.28.2 Una sierra de diamante permite dos tipos de corte:

i) **Corte en húmedo** – se utiliza agua como refrigerante para evitar que la hoja se sobrecaliente por la fricción durante el corte.
El agua también reduce el polvo y ayuda a eliminar los

recortes desde el fondo del corte. Se recomiendan hojas de corte en húmedo para cortes continuos o profundos.

ii) **Corte en Seco** – Las hojas de corte en seco son refrigeradas por aire y deben utilizarse únicamente para cortes intermitentes o superficiales, permitiendo que el flujo de aire alrededor de las hojas disipe el calor.

4.28.3 Para una sierra de diamante de mano (por ejemplo, una máquina de corte de juntas utilizada en la construcción de pavimentos de hormigón), debe haber un arreglo adecuado para bajar o elevar la hoja a cualquier nivel deseado. También debe contar con guías adecuadas para permitir un corte recto a lo largo de la línea deseada. Dado que una máquina de corte de juntas se utiliza generalmente para cortes continuos, debe contar con un sistema de alimentación de agua para la refrigeración.

4.28.4 La elección del diámetro de la hoja de diamante depende del trabajo a realizar. La hoja para cortar concreto debe ser compatible con la potencia y la velocidad de la sierra, la resistencia del concreto y la aplicación.

4.29 Máquina Selladora de Juntas

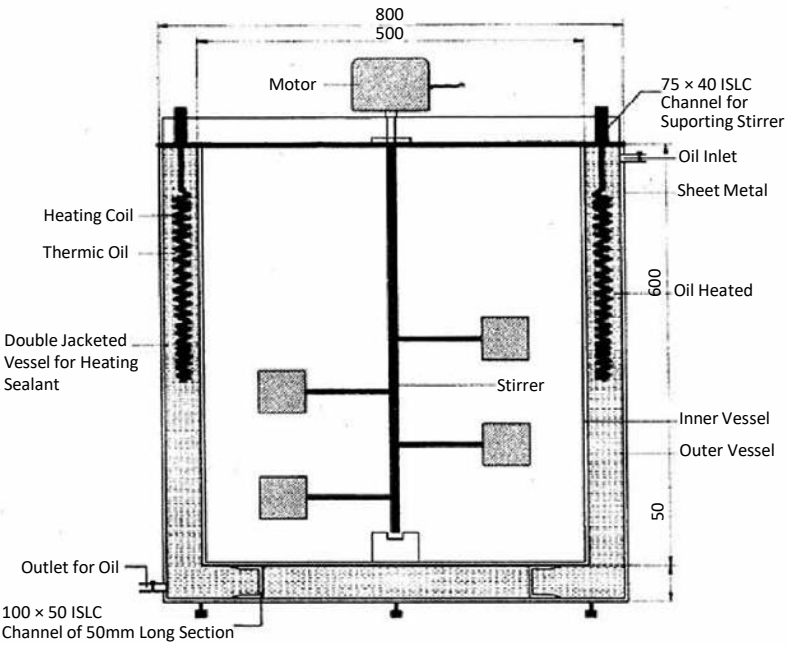
4.29.1 La Máquina Selladora de Juntas (**Figura 58**) está diseñada para la aplicación de sellador de juntas en pavimentos de hormigón. Consta de los siguientes elementos:

Figura 58: máquina selladora de juntas

i) Un calentador en caso de material aplicado en caliente. El sellador se calienta en un recipiente combinado de fusión y almacenamiento a la temperatura especificada. El calentamiento debe realizarse de manera controlada y uniforme mediante un método indirecto (preferiblemente mediante chaqueta de aceite). El calentador debe estar controlado termostáticamente para prevenir el sobrecalentamiento y la degradación del sellador. La provisión de un agitador mecánico en el calentador ayuda a controlar el sobrecalentamiento local.

ii) Bomba y aplicador/extrusores accionados por aire comprimido para material aplicado en caliente y en frío. El material sellador desde el recipiente de almacenamiento es bombeado hacia la varilla aplicadora equipada con una manguera flexible y una boquilla para aplicarlo en la ranura de sellado.

4.29.2 La técnica tradicional de sellado de juntas implica el uso de un calentador de sellador de juntas separado (para calentar el sellador aplicado en caliente) (**Figura 59**) y un vertedor/olla para sellador de juntas (**Figura 60**) para sellar manualmente.



Section on A-A

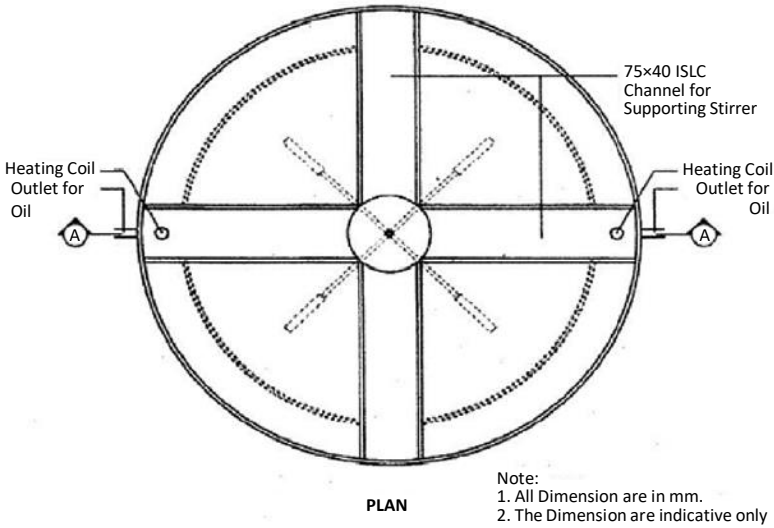


Figura 59: Calentador de Sellador de Juntas

Motor, Bombina de calentamiento, Aceite térmico, Recipiente con doble camisa para sellador calefactor, Salida de petróleo, Canal de sección de 50mm de Largo, Agitador de soporte, Hoja de metal, Calentador por aceite, Vaso interior, Recipiente exterior. Salida del serpentin, Calefactor para aceite, Agitador de soporte, Salida del recipiente, Todas las dimensiones están en mm, Las dimensiones son sólo indicativas.

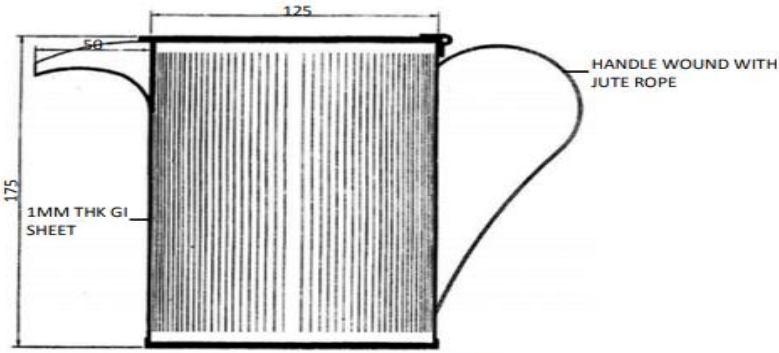


Figure 60: Joint Sealant Pourer

Figure 60: Vertedor de Sellador de Juntas

Hoja de 1mm de espesor, Mango enrollado con cuerda de yute

4.30 Una Máquina de Moldeado de Bordillos

4.30.1 La máquina de moldeo de bordillos está destinada a la fundición/colocación continua de bordillos de concreto, canaletas y otras formaciones de concreto de diferentes dimensiones con

tolerancias ajustadas.

4.30.2 Una máquina de fundición deslizante para bordillos (a veces también referida como pavimentadora de deslizamiento de forma compensada) (**Figura 61**) consta de lo siguiente:

i) Una tolva que se llena con la mezcla de concreto preparada en una mezcladora de concreto o planta dosificadora y mezcladora de concreto.

ii) Un molde de extrusión del perfil deseado para extruir la mezcla de concreto sobre el suelo.

iii) Sensores para controles automáticos horizontales y verticales que se utilizan en conjunto con al menos una guía (cuerda) para lograr la pendiente, inclinación y alineación deseadas.

iv) Vibradores internos en número, tamaño y frecuencia suficientes para proporcionar consolidación uniforme a toda la sección transversal.

Figura 61: Máquina de Moldeado de Bordillos por Deslizamiento

4.31 Una Máquina de Marcado de Carreteras

4.31.1 Está diseñada para la aplicación de pintura termoplástica sobre la superficie de la carretera. Puede ser controlada manualmente o ser totalmente automatizada.

4.31.2 Una máquina de marcado de carreteras (**Figure 62**) consta de lo siguiente:

i) Un caldero con chaqueta para calentar y fundir uniformemente el material termoplástico, con

dispositivos (como un agitador mecánico) para evitar la segregación o quemado del material. El caldero debe estar equipado con un dispositivo automático de control de temperatura y un termómetro para controlar la temperatura de manera precisa y prevenir el sobrecalentamiento o quemado del material termoplástico. En caso de que el recipiente de fusión no sea una parte integral de la máquina, el material termoplástico se funde primero en un precalentador separado y luego se transfiere a un tanque de almacenamiento en la máquina, donde debe mantenerse dentro del rango de temperatura especificado por el fabricante para lograr la consistencia deseada para el marcado. El tanque de almacenamiento debe contar con un agitador mecánico para prevenir la segregación y un termómetro para monitorear la temperatura del material.

ii) ii) Dispositivo de extrusión/regla (por ejemplo, matriz o zapata) o pistola de pulverización para la aplicación de material termoplástico caliente sobre la superficie de la carretera. El proceso de pulverización difiere del proceso de extrusión en que el material termoplástico caliente se combina con aire a presión para forzar su aplicación sobre la superficie de la carretera.

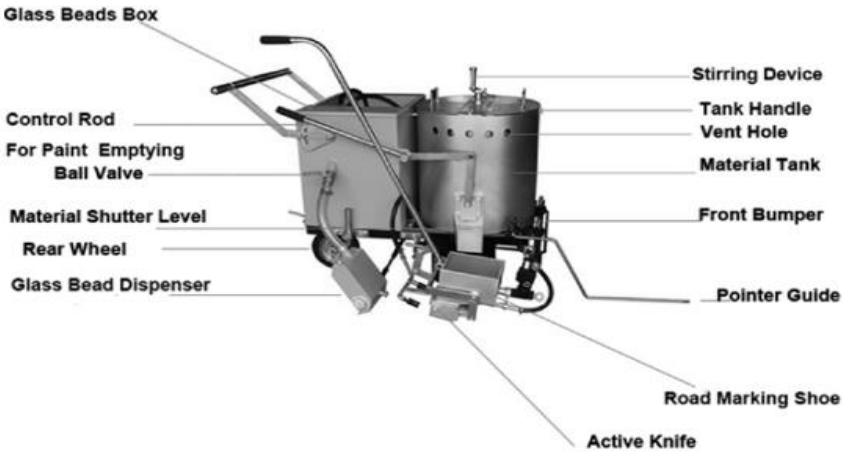


Figura 62: Máquina de Marcado de Carreteras

Caja de cuentas de vidrio, Barra de control, Vaciado de pintura, Nivel de obturador de material, Rueda trasera, Dispensador de cuentas de vidrio, Dispositivo de agitación, Mango del tanque, Orificio de ventilación, Tanque de materiales, Parachoques delantero, Guía de puntero, Zapato de señalización vial, Cuchillo activo

iii) Tolva y dispensador de perlas de vidrio. El dispensador de perlas debe estar conectado a la máquina de marcado de carreteras de manera que las perlas de vidrio se

dispensen inmediatamente detrás del material termoplástico. El dispensador de perlas debe estar equipado con un sistema de control automático que se sincronice con el corte del material termoplástico y aplique las perlas de vidrio de manera uniforme en toda la superficie del marcado de la carretera con el hundimiento necesario.

4.31.3 La máquina de marcado de carreteras debe ser capaz de desplazarse a una velocidad uniforme, tanto cuesta arriba como cuesta abajo, para lograr una aplicación uniforme del material de marcado y ser capaz de seguir líneas rectas y realizar curvas normales en un arco verdadero.

4.32 El equipo de Reciclaje en Caliente en el Lugar (HIPR, por sus siglas en inglés)

4.32.1 Equipo de Reciclaje en Caliente en el Lugar (HIPR) para Remezcla (**Figura 63**) debe estar equipado con características adecuadas para llevar a cabo diferentes funciones, tales como:

i) Un sistema de calentamiento indirecto (infrarrojos, aire caliente u otro método apropiado) para calentar uniformemente la superficie existente del pavimento bituminoso sin quemarla.

ii) Un tambor fresador/escarificador para raspar la superficie bituminosa calentada hasta la profundidad requerida.

iii) Medios adecuados (por ejemplo, tolva y sistema transportador acoplado con sistemas de alimentación para mezcla virgen caliente y rejuvenecedor) para transferir el material fresado calentado junto con mezcla virgen caliente adicional/rejuvenecedor a la mezcladora tipo pug mill.

iv) Una mezcladora tipo pug mill para la preparación de material remezclado uniforme y homogeneizado.

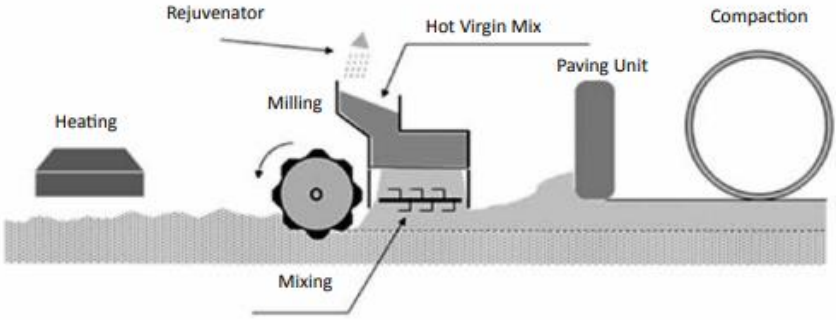


Figura 63: Equipo de reciclaje en caliente para remezcla

v) Una unidad de pavimentación para colocar el material remezclado sobre la superficie del pavimento fresado.

vi) Una unidad de compactación para compactar la mezcla después de pavimentar.

Una máquina única puede tener todas las características mencionadas anteriormente o puede haber un conjunto de equipos para realizar diferentes funciones.

El equipo de Reciclaje en Caliente en el Lugar (HIPR) debe contar con controles electrónicos para supervisar los procesos de calentamiento, alimentación de materiales, mezclado y pavimentación. Debería ser capaz de mantener la temperatura de la mezcla durante todo el proceso de reciclaje, asegurando que la mezcla final cumpla con las especificaciones.

4.32.2 El equipo de Reciclaje en Caliente en el Lugar (HIPR) debe tener un ancho de trabajo al menos igual al de un carril de circulación, con un arreglo ajustable. El ancho calentado de la superficie debe exceder el ancho fresado por al menos 75 mm a cada lado.

El equipo de Reciclaje en Caliente en el Lugar (HIPR) debería ser capaz de fresar hasta una profundidad de 50 mm con una velocidad de trabajo de 2 a 5 m/min. También debería ser capaz de incorporar más del 50% de RBP (Pavimento Bituminoso Recuperado) en la mezcla reciclada.

4.33 El equipo de Reciclaje en Frío en el Lugar (CIR, por sus siglas en inglés)

4.33.1 El Reciclaje en Frío en el Lugar (CIR, por sus siglas en inglés) del pavimento bituminoso es un proceso in situ de rehabilitación del pavimento bituminoso dañado que implica el 100% de reutilización de los materiales existentes del pavimento bituminoso. El proceso se llama reciclaje en frío porque los áridos no se calientan y se procesan a temperatura ambiente con la adición de áridos frescos, agua y un agente de reciclaje. El agente de reciclaje puede ser emulsión asfáltica, asfalto espumado y materiales cementicos, ya sea por sí solo o en combinación. Mientras que la emulsión asfáltica o el asfalto espumado, según sea el caso, se suele agregar en el tambor mezclador, el cemento puede ser añadido en forma de lechada en el tambor mezclador o puede ser esparcido previamente en el pavimento dañado por un esparcidor y consecuentemente recogido por el tambor fresador del reciclador.

4.33.2 Un equipo de Reciclaje en Frío en el Lugar debería contar con características y controles adecuados para llevar a cabo y supervisar las siguientes operaciones fundamentales:

i) Recuperación del pavimento existente hasta la profundidad especificada en un solo paso.

ii) Transformación del pavimento recuperado en agregados

bituminosos de tamaño adecuado.

iii) Adición de agregados frescos, agua y agente de reciclaje.
iv) Mezcla uniforme de todos los componentes para producir una mezcla homogénea.
v) Colocación de la mezcla reciclada en el pavimento.
vi) Compactación de la mezcla.

Una sola máquina puede llevar a cabo todas las operaciones anteriores (excepto la compactación, que es realizada por un rodillo separado), o puede haber un conjunto de equipos para realizar diferentes funciones.

Un ejemplo de equipo de reciclaje de unidad única (**Figuras 64** y **65**) sería uno que recupera, dimensiona y mezcla los aditivos en el tambor de fresado y mezcla mientras la operación de colocación se realiza con una cuchilla de raspado/nivelación ajustable hidráulicamente conectada en la parte posterior de la unidad. El tambor de fresado y mezcla tiene una aleta frontal hidráulicamente ajustable para controlar la gradación de los agregados cortados y sistemas de inyección controlados por microprocesador para la adición de agua y agente de reciclaje.

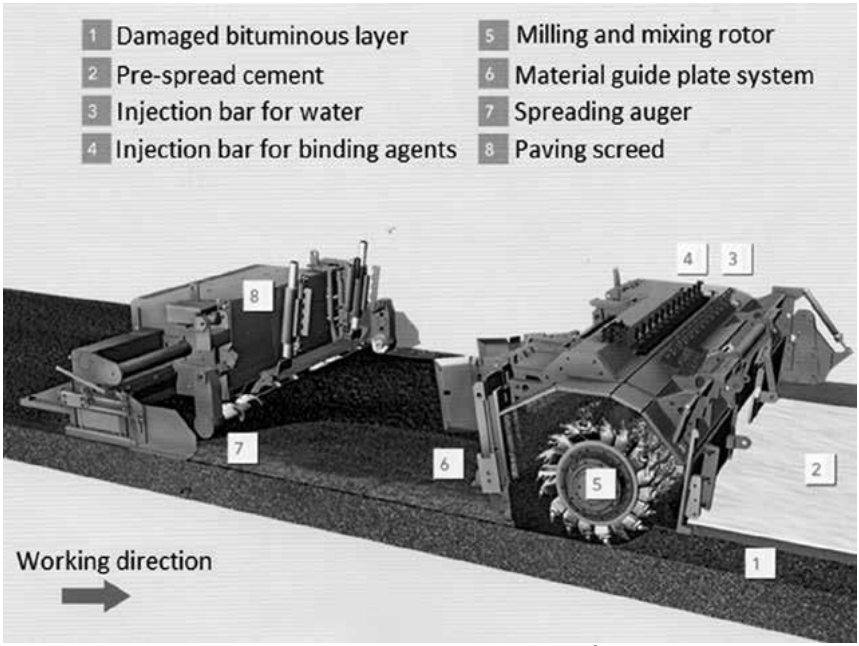


Figura 64: Equipo de Reciclaje en Frío de Unidad Única en el Lugar (con Cemento Pre-esparcido)

1 capa bituminosa dañada, 2 Cemento pre-esparcido, 3 Barra de inyección para agua, 4 Barra de inyección para aglutinantes, 5. Rotor de molienda y mezcla, 6 Sistema de placa guía de material, 7 Sinfín esparcidor, 8 Solera de pavimentación, Dirección de trabajo

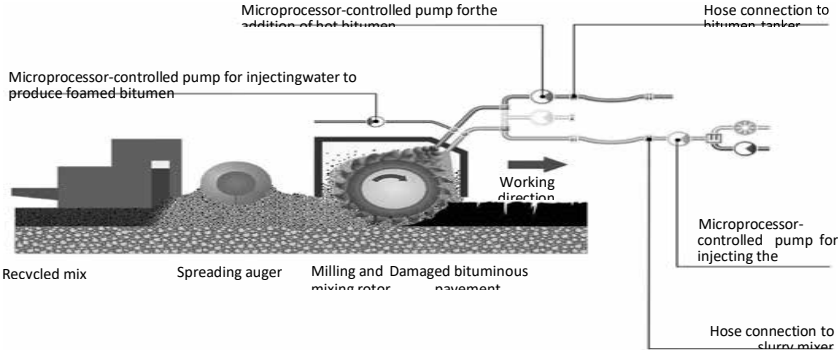


Figura 65: Equipo de Reciclaje en Frío de Unidad Única (con adición de lechada de cemento en el tambor de mezcla

Bomba controlada por microprocesador para la adición de betún caliente, Conexión de manguera al camión cisterna de betún, Bomba controlada por microprocesador para inyectar agua para producir betún espumado, Solera de pavimentación, Dirección de trabajo, Bomba controlada por microprocesador para inyección de lechada cemento-agua, Fresado y Dañado del pavimento rotor mezclador bituminoso, Mezcla reciclada, Sinfín de extensión, Conexión de manguera al mezclador de lechada

Un ejemplo de un tren de reciclaje de múltiples unidades sería el caso en el que la recuperación del pavimento se realiza con un tambor fresador, el dimensionado se logra con una unidad móvil de cribado/trituración, la mezcla se hace con un molino móvil y la colocación se lleva a cabo con una pavimentadora estándar. La **Figura 66** ilustra otra configuración de un tren de reciclaje de múltiples unidades donde un tambor de fresado y mezcla pulveriza el pavimento y prepara la mezcla reciclada, luego transfiere la mezcla a través de una cinta transportadora a una pavimentadora asfáltica para su colocación.

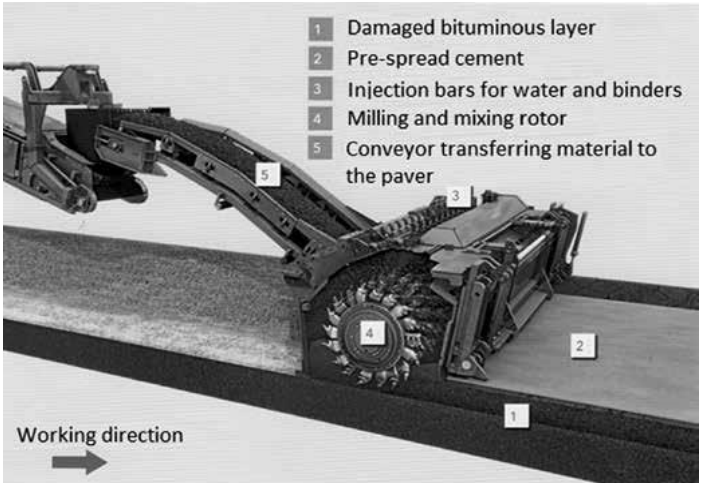


Figura 66: Tren de Reciclaje en Frío de Múltiples Unidades (con Cemento Pre-esparcido)

1. Capa bituminosa dañada, 2. Cemento pre-esparcido, 3. Barras de inyección para agua y aglutinantes, 4. Rotor de fresado y mezcla, 5. Transportador que transfiere material a la pavimentadora, Dirección de trabajo

4.33.3 El fresado puede realizarse en modo ascendente o descendente (**Figura 67**). El rotor de fresado opera en contra de la dirección de viaje del reciclador cuando se utiliza el proceso ascendente, y en la dirección de viaje del reciclador cuando se utiliza el proceso descendente.

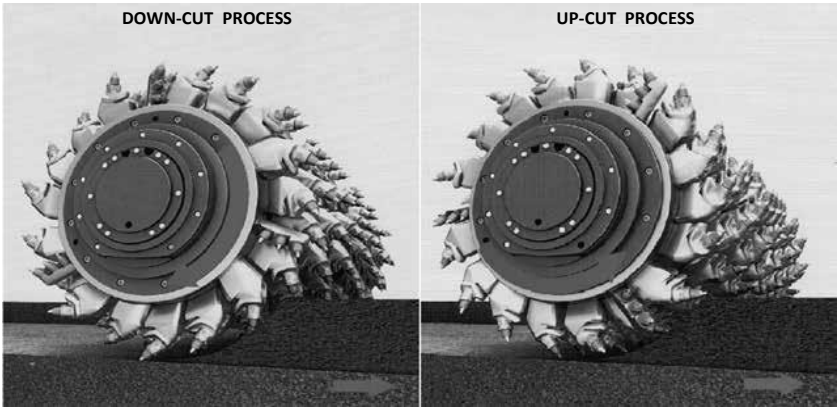


Figura 67: Descendente versus Fresado Ascendente
1. proceso de corte hacia abajo, 2. proceso de corte ascendente

4.33.4 Bitún Espumado (Figura 68) – El betún espumado se produce a partir de betún estándar de viscosidad. En el proceso, el betún se calienta eléctricamente y se inyectan pequeñas cantidades de agua y aire

Figura 68: Producción de Betún Espumado
Betún caliente, Agua, Cámara de expansión, Aire, espumado

en el betún caliente a alta presión en la cámara de expansión, lo que hace que el betún se espume y se expanda hasta alrededor de 15-20 veces su volumen original. La espuma de betún, aún inestable, se inyecta en el tambor de mezcla a través de boquillas de inyección neumáticas. Cuanto mayor sea el volumen de la espuma, mejor será la distribución del betún en el agregado.

Se proporcionan sistemas de pulverización separados para la adición de agua y betún espumado en el tambor de mezcla, y están controlados por microprocesador para una medición precisa de las cantidades necesarias.

4.33.5 La máquina debe estar equipada con controles de nivelación/pendiente para asegurar un perfil longitudinal y transversal adecuado. La **Figura 69** ilustra un sistema de péndulo de elevación de cuatro vías en una unidad de oruga de tracción en las cuatro ruedas para ajuste de altura y para compensar las irregularidades del terreno y adaptarse al gradiente/pendiente según los requisitos del pavimento.

Figura 69: Disposición de péndulo de elevación de cuatro vías para ajuste

de altura y control de pendiente

4.33.6 El tambor fresador debe tener un ancho de trabajo mínimo de 2400 mm con control de profundidad variable y velocidad de tambor variable para cumplir con los requisitos del sitio. En el mercado existen equipos con una profundidad de trabajo de hasta 510 mm.

4.34 Máquina Fresadora en Frío

4.34.1 La eliminación del pavimento bituminoso existente puede facilitarse mediante cualquiera de los siguientes dos métodos:

i) Fresado en Frío

ii) Desgarrado y Triturado

El fresado en frío es el método más ampliamente utilizado. Implica la eliminación controlada automáticamente del pavimento hasta una profundidad deseada y la restauración de la superficie libre de surcos, baches y otras imperfecciones a una pendiente o nivel específico con un equipo especial llamado fresadora. La superficie resultante puede usarse de inmediato como superficie de conducción para garantizar facilidad de tráfico y el RBP (pavimento bituminoso reciclado) puede reutilizarse como agregados en el sistema.

4.34.2 Los principales beneficios/funciones del fresado en frío (**Figuras 70** y **71**) son:

i) Eliminación escalonada y requerida de capas de pavimento bituminoso para asegurar que el producto final esté granulado para su posterior reutilización como RBP.

ii) Mejorar la calidad de conducción y la pendiente transversal del pavimento existente.

iii) Reducir el nivel final al lado del cordón existente o del hombro antes de la resuperficialización.

iv) Disminuir el nivel final de la carretera que ha aumentado abruptamente debido a capas superpuestas periódicas.

v) Garantizar que los problemas en el pavimento sean eliminados y que esté libre de grietas, y la sobrecubierta adicional en la superficie fresada asegura un pavimento duradero.

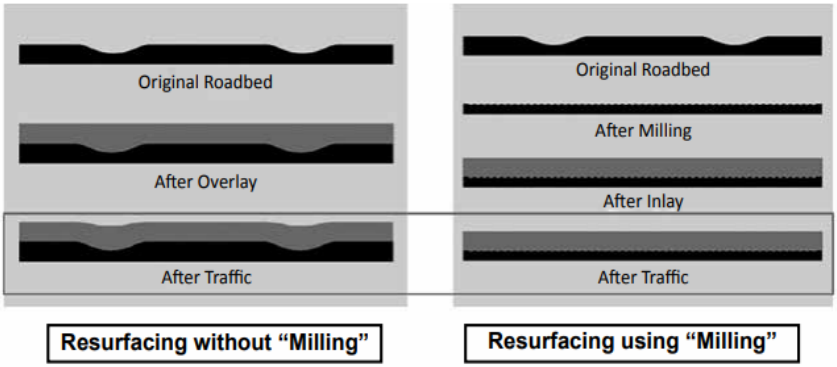


Figura 70: Repavimentado con y sin Fresado

Original, Plataforma original, Después, Repavimentado sin Fresado, Repavimentado utilizando Fresado

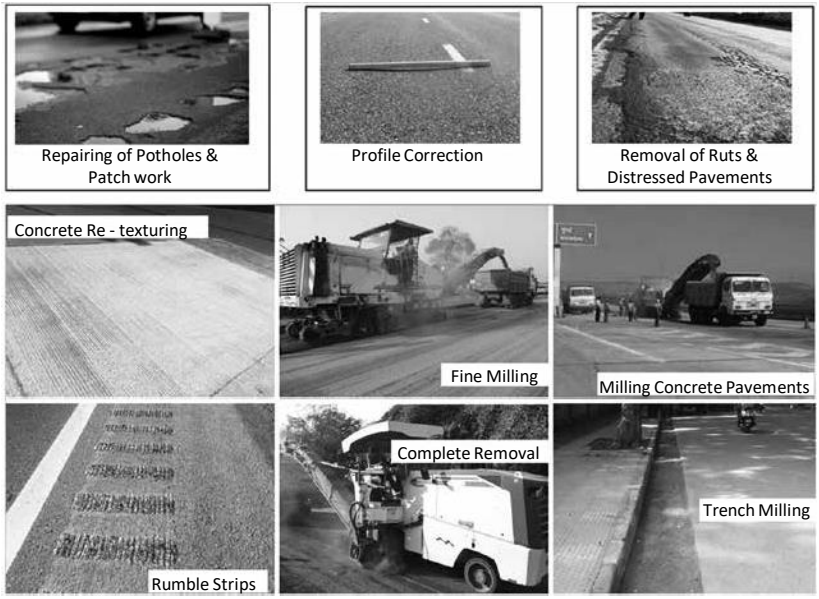


Figura 71: Aplicaciones del Fresado en Frío

Reparación de baches y parches, Re texturizado de hormigón, Corrección de perfil, Eliminación de surcos y pavimentos deteriorados, Fresado fino, Fresado de pavimentos de hormigón, Eliminación completa, Fresado de zanjas, Bandas sonoras.

vi) Eliminación completa o parcial del pavimento bituminoso existente.

vii) Ahorro de material al realizar correcciones de perfil.

viii) Producir una textura de superficie antideslizante, si es necesario (por ejemplo, casos en los que la superficie fresada será la superficie final del pavimento).

4.34.3 La máquina fresadora en frío puede ser de carga frontal (**Figura 72**) o de carga trasera (**Figura 73**) y consta de lo siguiente:

i) Un tambor cortador giratorio (**Figura 74**) equipado con una serie de dientes de carburo de tungsteno (con espaciado de herramientas variable) para fresar el pavimento hasta la profundidad requerida. El tambor tiene una serie de herramientas montadas con un espaciado uniforme que garantiza que el tamaño del corte final cumpla con los requisitos de gradación para su reutilización como agregado. La velocidad de la máquina y la profundidad de fresado son ajustables rápidamente con solo presionar un botón. El tambor fresador (con ancho variable de 0.3 a 2 m) puede ser de varios tipos según el requerimiento del trabajo:

eliminación de una o varias capas de pavimento, eliminación de capas delgadas de superficie (huellas y ondulaciones), o eliminación de todo el paquete de pavimento (a plena profundidad), etc

ii) Un sistema de transportador para recolectar el material asfáltico granulado del tambor de fresado y descargarlo directamente en camiones volquete esperando.

Figura 72: Máquina Fresadora en Frío de Carga Frontal

Figura 73: Máquina Fresadora en Frío de Carga Trasera

Figura 74: Tambor de Fresado

La máquina fresadora es autopropulsada con un sistema de propulsión adecuado. Debería estar equipada con cuatro ruedas con tracción en todas las ruedas o con cuatro orugas operadas de forma independiente y equipadas con almohadillas para orugas, eliminando así cualquier daño a la superficie bituminosa.

Para garantizar una operación de fresado adecuada, la máquina debería mostrar datos completos en el panel de trabajo de la máquina. La máquina debería ser capaz de mantener una profundidad de corte y una inclinación transversal según los requisitos. La variación en la profundidad de corte y la velocidad variable de operación deberían garantizar el tamaño de corte deseado del RBP utilizado para el reciclaje.

La máquina deberá estar equipada con sensores para controles automáticos de pendiente (**Figura 75**), que aseguran perfiles longitudinales y transversales precisos.

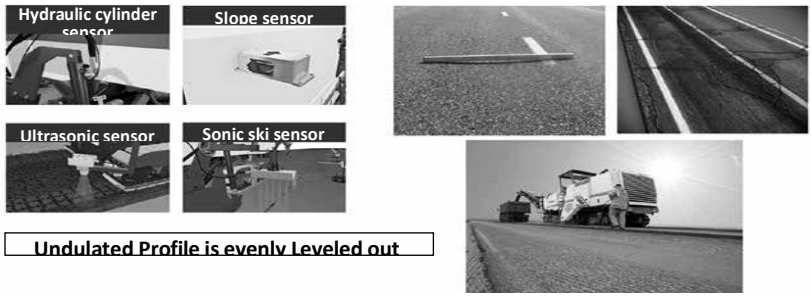


Figura 75: Sistema de Nivelación en la Máquina Fresadora en Frío.
Sensor de cilindro hidráulico, Sensor de pendiente, Sensor ultrasónico, Sensor de esquí sónico, El perfil ondulado está uniformemente nivelado.

La máquina fresadora debe estar equipada con medios adecuados, como un sistema de rociado de agua, para limitar eficazmente la cantidad de polvo que escapa durante las operaciones de remoción. Debería proporcionar un fresado de borde a borde para mantener un perfil uniforme y reducir errores.

Una máquina fresadora más pequeña puede ser utilizada al fresar junto a bordillos existentes, alrededor de servicios públicos u otras áreas donde no sea práctico utilizar la máquina más grande.

4.35 Martillo Neumático

4.35.1 Es una herramienta de percusión donde el pistón se mueve hacia adelante y hacia atrás en un cilindro y golpea en un extremo de su recorrido. Se utiliza para la demolición de rocas, estructuras y en la explotación de canteras para la construcción.

4.35.2 El martillo neumático consta de lo siguiente:

i) Un conjunto de cabeza posterior equipado con un mango en forma de 'T' y una palanca de aceleración. La palanca de aceleración debe estar ubicada de manera que permita el funcionamiento del martillo desde cualquiera de los lados.

ii) Un conjunto de cilindro equipado con un mecanismo de válvula para controlar la dirección del aire necesario para la actuación del pistón, un manguito de bloque de yunque y un pistón reversible.

iii) Brindas – Todas las bridas deben tener un grosor y resistencia suficientes para evitar fallas durante la operación y resistir el estrés mecánico cuando se instalan los conjuntos de cabeza posterior y cabeza frontal.

iv) Un conjunto de cabeza frontal equipado con una pinza para la herramienta de vástago de collar y un dispositivo positivo de retención del vástago, como un retenedor de trinquete o un retenedor de resorte tipo estribo giratorio. La carcasa de la pinza del martillo debe contener un revestimiento renovable o ser de tipo sólido.

v) Conexión de entrada de aire para suministrar aire fresco al martillo. El extremo de la conexión de entrada de aire debe tener un hilo prolongado y estar provisto de una tetina para la conexión a una manguera de aire de 20 mm. La conexión de entrada de aire debe permitir el funcionamiento del martillo sin obstrucciones para el trabajo normal ni restricciones para el operador.

vi) Puerto de escape para dirigir el aire de escape hacia abajo y lejos del operador cuando se opera el martillo desde cualquiera de los lados.

vii) Cojines de aire adecuados en ambos extremos del pistón en el cilindro.

viii) Un depósito interno de aceite o un lubricador de línea de aire para la lubricación del martillo.

4.35.3 Los martillos neumáticos pueden clasificarse según el peso de la unidad básica, como:

i) Ligero (para un peso de hasta 20 kg) - para trabajos ligeros de demolición.

ii) Mediano (para un peso superior a 20 kg y hasta 32 kg) - para romper pavimentos de concreto ligero, macadam, suelo congelado y grava.

iii) Pesado (para un peso superior a 32 kg y hasta 40 kg) -

para romper pavimentos de concreto, demolición de cimientos y paredes de concreto, cortar pavimentos y subbases, excavar en suelos duros y para romper rocas grandes que no se pueden volar de otra manera.

4.35.4 Un ejemplo de un martillo neumático portátil es el martillo demoledor (**Figura 106**). La herramienta puede ser de tipo no rotativo o rotativo, según la aplicación. La herramienta puede ser de tipo no rotativo o rotativo según la aplicación (por ejemplo, cincel, broca, varilla de apisonar, clavo o conducto de láminas, etc.).

4.35.5 Para obtener más información sobre el martillo neumático, consulta la norma IS:3559.

4.36 Martillo Hidráulico

4.36.1 El Martillo Hidráulico es una herramienta de percusión utilizada para trabajos de demolición, similar al martillo neumático, pero con alimentación hidráulica. Suele utilizarse como un accesorio en excavadoras hidráulicas o retroexcavadoras. (**Figura 76**) consta de lo siguiente:

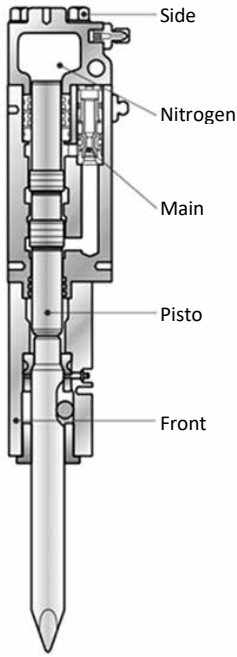


Figura 76: Martillo Hidráulico

Lado, Nitrógeno, Principal, pista, Frente

i) Una válvula direccional para controlar la dirección del flujo de aceite.

ii) Un acumulador para almacenar energía potencial

(comúnmente mediante gas comprimido) y actuar como una fuente secundaria rápida de energía fluida capaz de realizar trabajo útil según lo requerido por el sistema. Ayuda a suavizar las pulsaciones en el martillo.

iii) Una cabeza posterior llena de gas nitrógeno

iv) Pistón de impacto para suministrar la energía de impacto al cincel mientras realiza un movimiento recíproco.

v) Una herramienta (o cincel) que rompe el material directamente.

La operación de soplado del martillo hidráulico implica el movimiento hacia abajo del émbolo de la válvula de control para permitir que el aceite a alta presión actúe sobre el pistón de impacto en el cilindro y lo haga mover hacia arriba, comprimiendo así el gas nitrógeno en la cabeza posterior. Posteriormente, la dirección del flujo de aceite en la válvula de control direccional cambia de manera que hace que el émbolo de la válvula suba hacia arriba, reduciendo así la presión de aceite ascendente que actúa sobre el pistón de impacto. Como resultado, el gas nitrógeno comprimido en la cabeza posterior ejerce ahora suficiente fuerza hacia abajo sobre el pistón, provocando que se mueva hacia abajo y golpee la parte superior del cincel. Esto envía una onda de tensión compresiva al extremo de trabajo del cincel, lo que hace que la roca en contacto con él se fracture. Inmediatamente después de la onda inicial de tensión compresiva, se forma una onda de tensión reflejada, que viaja de regreso a la herramienta, haciendo rebotar el pistón hacia arriba fuera de la parte superior de la herramienta. Este ciclo de tensiones compresivas y tensiles que fluyen hacia arriba y hacia abajo de la herramienta se repite con cada golpe del pistón.

Cualquier interferencia con la fuerza de las ondas de tensión compresiva durante la operación, como disparo en vacío (sin carga) o palanca con la herramienta, puede disminuir el rendimiento del martillo y causar fatiga en la herramienta. El martillo debe estar en un ángulo de 90° respecto a la cara de la roca.

Medidas efectivas para controlar el polvo al utilizar martillos hidráulicos incluyen el suministro continuo de agua al punto de impacto a través de un sistema de rociado de agua, la provisión de un protector o carcasa con un sistema de recolección de polvo por vacío, etc.

4.36.2 Dado que un martillo hidráulico a menudo opera en condiciones extremas y tiene que soportar vibraciones de impacto y cargas de impacto, la estabilidad estructural de la carcasa es fundamental para el rendimiento, durabilidad y vida útil del equipo, y, por lo tanto, es uno de los factores de diseño más importantes. Otros factores de diseño que influyen en el rendimiento del martillo incluyen el circuito hidráulico, el diseño del pistón de impacto, la válvula de desplazamiento, etc.

4.36.3 El rendimiento del martillo hidráulico (al igual que un martillo neumático) se indica por golpes por minuto y peso total.

4.37 Equipo Móvil de Sellado de Lodos

4.37.1 Consiste en un conjunto autopropulsado de diseño montado en camión o de funcionamiento continuo, que fabrica y distribuye simultáneamente la mezcla en el lugar de trabajo. Además del sellado de lodos, el equipo se puede utilizar con ligeras modificaciones para la micro carpeta. La diferencia principal entre el sellado de lodos y la micro carpeta es que el primero utiliza una emulsión de betún y el segundo una emulsión de betún modificada.

La diferencia entre el diseño montado en camión y el diseño de funcionamiento continuo (**Figura 77**) de la máquina es que este último está equipado con un dispositivo de carga automática para reponer su stock de material desde un camión alimentador especializado mientras continúa colocando el sellado de lodos. Esta máquina puede funcionar continuamente con paradas mínimas, minimizando así las juntas de construcción.

Continuous Run Unit **Truck-Mounted Unit**

Figura 77: Tipos de Equipos Móviles para Sellado de Lodos/Micro aglomerado Superficial

Unidad de funcionamiento continuo, Unidad montada en camión

4.37.2 El equipo móvil para sellado de lodos/micro aglomerado superficial (**Figura 78**) consta de los siguientes componentes:

i) Tolva de Áridos
ii) Tolva de Relleno
iii) Tanques de Agua y Emulsión
iv) Transportadores para alimentar áridos y relleno a la caja mezcladora
v) Bombas para emulsión de bitumen y agua
vi) Caja Mezcladora
vii) Caja Esparcidora para colocar la mezcla de lodos en el pavimento.

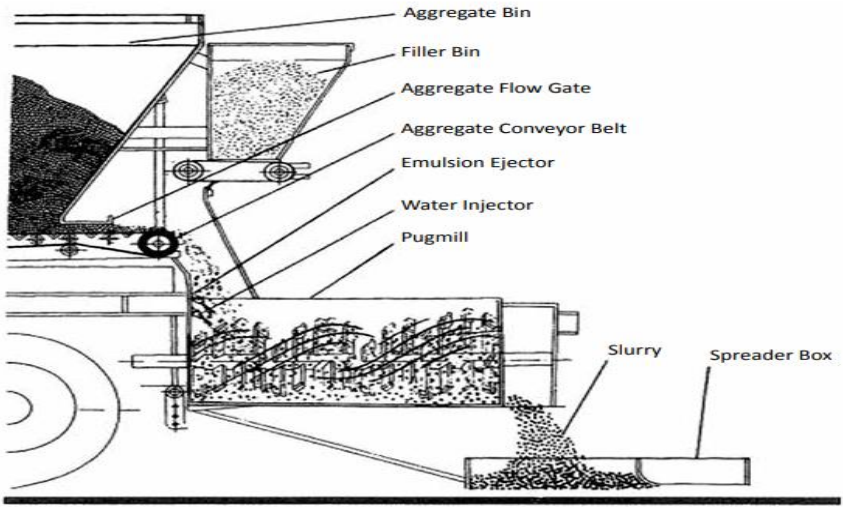


Figure 78: Equipo móvil de sellado de lodos/micro pavimentos

Contenedor agregado, Contenedor de llenado, Puerta de flujo agregado, Cinta transportadora de agregados, Eyector de emulsión, Inyector de agua, Amasadora, Estiércol líquido, Caja esparcidora

El proceso consiste en alimentar los áridos, el relleno, el agua y la emulsión asfáltica en un mezclador de flujo continuo hidráulico o mecánico a las tasas especificadas. El mezclador debe ser una unidad de flujo continuo de múltiples cuchillas o espirales capaz de proporcional y mezclar con precisión los ingredientes, produciendo así una mezcla homogeneizada. La mezcla luego se descarga continuamente en una caja esparcidora.

Se deben proporcionar controles individuales de volumen o peso para proporcional cada material que se añadirá a la mezcla y deben estar correctamente marcados. Los dispositivos de proporción suelen ser contadores de revoluciones o medidores de flujo o medidores totalizadores u dispositivos similares: un contador para contar las revoluciones de la polea de cabeza de la cinta transportadora de áridos/relleno, un dispositivo de medición capaz de medir la cantidad de agua y un dispositivo de medición separado capaz de medir la cantidad de emulsión asfáltica.

En un mezclador de flujo continuo hidráulico, el eje de transmisión del motor hidráulico está conectado directamente a la bomba de emulsión y tiene el mismo eje o un eje paralelo conectado al motor hidráulico que impulsa la polea de cabeza de la cinta transportadora de áridos. En un mezclador de flujo continuo mecánico, la bomba de emulsión y la polea de cabeza de la cinta transportadora de áridos son accionadas por el mismo eje de transmisión.

La mezcla se extenderá uniformemente mediante una caja esparcidora convencional conectada al mezclador y equipada para agitar y distribuir el material de manera uniforme en toda la caja. El agitador consiste en paletas montadas en un eje ajustable y proporciona suficiente turbulencia para evitar que la mezcla se solidifique en la caja o cause acumulaciones laterales excesivas o grumos. La caja esparcidora estará equipada con un material flexible (sello) en contacto continuo con el pavimento bituminoso existente y será capaz de controlar la tasa de aplicación. Se proporcionará un sello frontal para asegurar que no haya pérdida de la mezcla en el punto de contacto con la carretera. El sello trasero actuará como última nivelación y será ajustable para obtener la altura adecuada. Tanto la caja esparcidora como la niveladora trasera estarán diseñadas y operadas de manera que se logre una consistencia uniforme para producir un flujo libre de material hacia la niveladora trasera. Una niveladora secundaria tendrá el mismo ajuste que la caja esparcidora. La caja esparcidora tendrá un ancho ajustable y se proporcionarán medios adecuados para desplazar lateralmente la caja para compensar las variaciones en la geometría del pavimento. Un rastrillo de estopa u otro método aprobado puede estar unido a la parte trasera de la caja esparcidora para proporcionar una superficie uniforme, lisa y altamente texturizada.

Algunas cajas esparcidoras están equipadas con uno o más conjuntos de sinfines para mejorar la distribución del sello de lechada en la caja esparcidora.

Para el diseño de equipos móviles de sellado continuo de lechada, la máquina deberá estar equipada con un dispositivo de carga automática y controles de velocidad hacia adelante y hacia atrás para permitir al operador tener control total de la velocidad en ambas direcciones durante la aplicación del sellado de lechada.

Para obtener más información sobre equipos móviles de sellado de lechada/micro aglomerado, consulta el documento IRC: SP:81.

4.38 Máquina de Masticado

4.38.1 La máquina de masticado (**Figura 79**) es un equipo móvil destinado a la preparación de asfalto mastic. Está diseñada para trabajos a pequeña escala.

4.38.2 Consta de compartimentos, donde cada uno es un tanque aislado con provisión para calentamiento. El calentamiento se realiza generalmente mediante quemadores de aceite. El compartimento central y principal está equipado con un agitador mecánico y se utiliza para calentar el betún y para preparar la mezcla, mientras que los bolsillos o compartimentos laterales están destinados a precalentar los áridos gruesos y finos y el relleno.

4.38.3 Por lo general, se utilizan máquinas de masticado de diversas

capacidades que van desde 0,5 toneladas hasta 3 toneladas, dependiendo de la cantidad de trabajo involucrado.

Para trabajos a gran escala, se debería emplear una planta de mezcla en caliente de tipo por lotes junto con una acabadora de pavimento y una esparcidora de agregados. Para obtener más información al respecto, consulta el documento IRC:107.

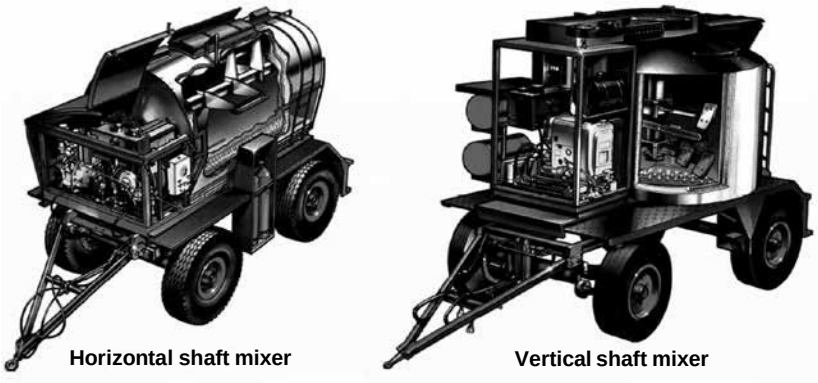


Figura 79: Cocina de masilla

Mezclador de eje horizontal, Mezclador de eje vertical

4.39 Máquina quitanieves

4.39.1 La máquina quitanieves (**Figura 80**) es principalmente utilizada para remover grandes cantidades de nieve de la calzada. Debería ser autopropulsada con tracción en las cuatro ruedas (tracción hidrostática para realizar la operación de corte/soplado de nieve) y estar equipada con lo siguiente:

i) Un sistema de sinfín para cortar y desagregar una capa de nieve.
ii) Un sistema de turbina para lanzar/soplar las partículas de nieve fragmentadas a través de una tolva.
iii) Una tolva capaz de rotar alrededor de un eje vertical para lanzar la nieve en la dirección deseada.

La máquina debe ser capaz de operar a altitudes elevadas (hasta 5500 metros sobre el nivel del mar). Debería contar con iluminación y sistemas de calefacción adecuados (tanto para la cabina del operador como para la línea de combustible, el cárter del motor y el conjunto del bloque del motor), con visibilidad completa desde la cabina del operador.

Figura 80: Soplador de nieve

4.39.2. Los parámetros clave de rendimiento/especificaciones para la operación efectiva de una quitanieves se indican en **Tabla 29**.

Table 29: Especificaciones para quitanieves

Sl. No.	Especificación	Valor
1.	Separación del suelo	300 mm o más
2.	Radio de giro	Max 8.5 m o menos
3.	Distancia entre ejes	3000 mm o menos
4.	Ancho de limpieza de nieve	2400 mm o más
5.	(El ancho de la cabeza del soplador debe ser mayor que el ancho del eje)	5000 TPH ± 250 TPH
6.	Capacidad de corte y limpieza de nieve (capacidad máxima dependiendo de las densidades de nieve y otros parámetros)	10 – 40 m
7.	Distancia de lanzamiento	1500 mm o más
8.	Altura de limpieza de nieve	0.3 km/hr o más
9.	Velocidad de trabajo de limpieza de nieve	40 km/hr o más

4.40 Planta de mezcla bituminosa en frío

4.40.1 Como su nombre indica, esta planta se utiliza para la preparación de mezcla bituminosa en frío mediante la mezcla de emulsión bituminosa con áridos pre humedecidos según una fórmula de mezcla de trabajo de laboratorio. La mezcla en frío puede ser utilizada para capa base, ligante, nivelación o capa de rodadura o revestimientos estructurales, especialmente durante la temporada de lluvias. La planta puede ser móvil o estacionaria y es alimentada por un motor diésel o motor eléctrico. Una planta móvil está montada en un chasis con neumáticos de tamaño adecuado y con frenos de inercia y de estacionamiento.

4.40.2 Una planta de mezcla móvil suele ser preferida y consta de los siguientes componentes:

i) **Alimentador de agregados** – La planta deberá contar con al menos dos tolvas o compartimentos, cada uno con una capacidad suficiente y provisto de medios mecánicos precisos para alimentar el árido a una tasa uniforme y predefinida hacia el elevador o hacia algún transportador intermedio que entregue el árido al equipo de pesaje o medición. El alimentador deberá permitir el ajuste del suministro total y proporcional. Para plantas más pequeñas, la tolva de alimentación en frío puede montarse directamente sobre la mezcladora continua y la puerta de descarga puede abrirse o cerrarse manualmente. La carga de la tolva de alimentación en frío puede realizarse manualmente o mediante medios mecánicos.

ii) **Elevador de áridos (si es necesario)** – El árido puede ser elevado a la mezcladora mediante un transportador de cangilones, un montacargas de salto o una cinta transportadora.

iii) **Unidad de almacenamiento de emulsión bituminosa** – Debería tener capacidad suficiente para al menos un día de funcionamiento.

iv) **Mixer** –El mixer suele ser un molino mezclador de doble eje y puede ser de tipo continuo o por lotes. Deben proporcionarse medios adecuados para el pesaje preciso y la alimentación de áridos y emulsión bituminosa en el mezclador. Sin embargo, en el caso de mezcladores más pequeños, puede permitirse la medición volumétrica tanto de áridos como de emulsión bituminosa.
La capacidad del mezclador puede variar desde 6 toneladas por hora (TPH) hasta 60 TPH.

4.40.3 Para obtener más información sobre la planta móvil de mezcla bituminosa en frío, consulta IS:5435.

PART B: EQUIPMENT FOR BRIDGE WORKS

5. EQUIPOS DE ACTIVIDAD PARA OBRAS DE PUENTES

Tabla 30 enumera el equipo esencial necesario para cada actividad de construcción de puentes. El equipo requerido para la excavación de estructuras y la capa de desgaste bituminosa en el tablero del puente ya se ha incluido en la **Sección 3**.

Table 30: Equipo inteligente de actividad para obras de puentes

Sl. No.	Descripción del Trabajo/ Actividad	Equipo	Ref. a MoRTH Especificaciones (Quinta revisión) Cláusula/ Sección	Observaciones
Cimentación, Subestructura y Superestructura				
1.	Hormigón de cemento simple/reforzado (PCC/RCC) en cimientos abiertos/ cimientos de pozos/remates de pilotes/subestructuras/superestructuras	i) Compresor de aire	1114, 1200, 1500, 1600, 1700, 2100, 2200, 2300	Necesario en caso de remover agua de la cimentación; Se prefiere un compresor de capacidad mínima de 300 pies cúbicos por minuto (cfm).
		ii) Bomba de desagüe		
		iii) Máquina cortadora de barras		Para la preparación de la jaula de refuerzo en caso de concreto reforzado.
		iv) Máquina dobladora de barras		
		v) Grúa		Para el transporte/colocación de la jaula de refuerzo.
		vi) Mezcladora de concreto o Planta dosificadora y mezcladora de concreto + Camión mezclado		
		vii) Grupo electrógeno		

Sl. No.	Descripción del Trabajo/ Actividad	Equipo	Ref. a MoRTH Especificaciones (Quinta revisión) Cláusula/ Sección	Observaciones
		viii) Bomba de Concreto o Grúa + Cubo de Concreto o Chute o Tubo de Descarga/Tremie		Grúa necesaria para manejar la tubería tremie.
		ix) Vibrador de concreto		Para compactación de concreto.
		x) Flotador/Llana		Para acabado de concreto.
		xi) Encofrado		
		xii) Camión Cisterna de Agua		
		xiii) Andamio		
		xiv) Cepillo de Alambre		Para raspar la superficie superior de la cimentación/la tapa del pozo/la losa de pilotes antes de hormigonar para la subestructura.
2.	Proporcionar y construir una isla temporal para la construcción de una cimentación en pozo en el agua.	i) Grúa con Cucharón de Agarre	1200	Supuesto que la tierra está disponible dentro del espacio de trabajo de la grúa con cubo de agarre.
3.	Provisión y construcción de un camino de servicio de un tramo para llegar desde la ubicación de un pilote hasta la ubicación de otro pilote.	i) Cargadora Frontal o Retroexcavadora	1200	
		ii) Camión Volquete		

Sl. No.	Descripción del Trabajo/ Actividad	Equipo	Ref. a MoRTH Especificaciones (Quinta revisión) Cláusula/ Sección	Observaciones
4.	Hundimiento de pozo (distinto al método neumático de hundimiento) a través de suelo arenoso/arcilloso/roca blanda/roca dura.	i) Grúa con cucharón de agarre	1208	La capacidad del cucharón suele ser de 0,5 a 2 metros cúbicos.
		ii) Martillo neumático o hidráulico (cincel)		Requerido en caso de suelo arcilloso duro o roca.
		iii) Lastre de Kentledge + Plataforma de carga o Tubo empinado + Boquilla + Bomba de agua o Equipo de perforación + Equipo de inyección de lechada + Gato hidráulico o Accesorios de voladura		Para hundimiento convencional del pozo. Para hundimiento del pozo mediante chorro de agua. Para hundimiento del pozo mediante el método Jack Down; se debe usar un gato de al menos 500 toneladas de capacidad.
		iv) Generador eléctrico		
		v) Fuente de luz		
		vi) Compresor de aire		Se prefiere un compresor con capacidad mínima de 300 pies cúbicos por minuto (CFM).
		vii) Bomba de desagüe		En caso de esperar soplos de arena, no se debe realizar la desecación.
		viii) Bote		No se requiere en caso de lecho seco.
		ix) Camión volquete		

Sl. No.	Descripción del Trabajo/ Actividad	Equipo	Ref. a MoRTH Especificaciones (Quinta revisión) Cláusula/ Sección	Observaciones
5.	Hundimiento Neumático de Pozo	i) Compresor de aire	1208.8	Mínimo preferible de compresor con capacidad de 300 pies cúbicos por minuto.
		ii) Bomba de desagüe		
		iii) Equipo neumático de hundimiento		
		iv) Grúa		
		v) Barcaza motorizada		No es necesario en caso de lecho seco.
		vi) Bote		No es necesario en caso de lecho seco.
		vii) Generador eléctrico		
		viii) Fuente de luz		
		ix) Camión volquete		
6.	Los pilotes de concretos fundidos en el lugar mediante perforación	i) Mezcladora de concreto + Grupo electrógeno + Tubería tremie o Planta de mezcla y dosificación de concreto + Grupo electrógeno + Camión mezclador + Tubería tremie	1106, 1107, 1700	
		ii) Compresor de aire		300 cfm Preferiblemente compresor de capacidad.
		iii) Bomba de desagüe		
		iv) Equipo de perforación de pilotes		
		v) Crane		Para bajar la jaula de refuerzo en un agujero perforado.

Sl. No.	Descripción del Trabajo/ Actividad	Equipo	Ref. a MoRTH Especificaciones (Quinta revisión) Cláusula/ Sección	Observaciones
		vi) Bomba de bentonita		Para mantener la suspensión de lodo de perforación (bentonita) a un nivel suficiente por encima del nivel freático circundante durante todo el proceso de perforación, así como para el lavado del agujero perforado con bentonita antes de la colocación del concreto.
		vii) Cargadora frontal o retroexcavadora		Para la eliminación del barro del agujero de perforación de pilotes.
		viii) Camión volquete		
7.	Perforación de pilotes de concreto precolado/colado in situ.	i) Mezcladora de concreto + Generador eléctrico + Tubo tremie o Planta de mezcla y dosificación de concreto + Generador eléctrico + Camión mezclador + Tubo tremie	1106, 1107, 1700	Para la colocación de concreto en caso de pilotes colados in situ.
		ii) Compresor de aire		Una capacidad de compresor de 300 CFM es preferible.
		iii) Deshidratación Bomba		

Sl. No.	Descripción del Trabajo/ Actividad	Equipo	Ref. a MoRTH Especificaciones (Quinta revisión) Cláusula/ Sección	Observaciones
		iv) Martillo piloteador		
		v) Grúa		Para bajar la jaula de refuerzo y manipular el revestimiento de acero en caso de pilotes colados en el sitio. Para pilotes prefabricados, se utiliza una grúa o remolque para su transporte.
		vi) Cargador frontal o Retroexcavadora		Para la disposición del material excavado.
		vii) Camión volquete		
8.	Driven Steel Pile	i) Martillo de pilotaje	1108, 1900	
		ii) Grúa		Para el transporte del pilote de acero.
		iii) Compresor de aire		Se prefiere un compresor de capacidad de 300 pies cúbicos por minuto.
		iv) Bomba de desagüe		
		v) Cargadora frontal o Retroexcavadora		Para la remoción del barro.
		vi) Camión volquete		

Sl. No.	Descripción del Trabajo/ Actividad	Equipo	Ref. a MoRTH Especificaciones (Quinta revisión) Cláusula/ Sección	Observaciones
9.	Relleno detrás del estribo, muro de ala y muro de retorno (con material granular/arenoso)	i) Cargadora retroexcavadora	2200	Se asume que el material de relleno está disponible en el lugar de la obra; de lo contrario, se considerará el uso de un camión volquete para transportar el material de relleno desde otra ubicación.
		ii) Placa compactadora o pisón		
		iii) Camión cisterna		
10.	Suministro y colocación de medio filtrante con materiales granulares/agregados de piedra triturada proporcionados en toda la superficie detrás del estribo, el muro alar y el muro de retorno hasta la altura completa compactada a una condición firme	i) Cargadora retroexcavadora	2200, 2504.2.2	Para preparar/ nivelar la superficie hasta la pendiente requerida. Se asume que el material granular/árido está disponible en el lugar; de lo contrario, se debe considerar un camión volquete en caso de transporte del material granular/árido desde otro lugar.

Sl. No.	Descripción del Trabajo/ Actividad	Equipo	Ref. a MoRTH Especificaciones (Quinta revisión) Cláusula/ Sección	Observaciones
		ii) Compactador de Placas o Pisón		
		iii) Camión cisterna		
11.	Concreto Pretensado (PSC)	i) Mezcladora de Concreto o Planta de Mezcla y Dosificación de Concreto + Camión Mezclador / Agitador	1500, 1700, 1800	
		ii) Generador Eléctrico		
		iii) Equipo de Colocación de Concreto		
		iv) Vibrador de Concreto		Vibrador para Hormigón.
		v) Llanura o Fratacho		Herramienta de Acabado para Hormigón.
		vi) Camión cisterna		
		vii) Cimbra/Molde		
		viii) Equipo de Pretensado		
		ix) Equipo de Grouting		Requerido en caso de postensado para rellenar conductos.
12.	Lanzamiento y colocación en posición de vigas, viguetas, losas o segmentos prefabricados de concreto.	i) Tráiler	2300	Para el transporte desde el depósito hasta la obra.
		ii) Crúa		Para el lanzamiento/colocación en posición.

Sl. No.	Descripción del Trabajo/ Actividad	Equipo	Ref. a MoRTH Especificaciones (Quinta revisión) Cláusula/ Sección	Observaciones
13.	Junta de expansión	i) Sierra de diamante	2600	Para retirar parte del revestimiento superficial sobre la cavidad antes de la instalación de la junta.
		ii) Cepillo de alambre		Para la preparación de la cavidad.
		iii) Compresor de Aire		
		iv) Planta Móvil de Mezcla en Caliente		Para junta de enchufe asfáltico.
		v) Pisón o Compactadora De Placas o Rodillo		
		vi) Equipo de Soldadura Herramientas Manuales/Mecánicas/Rodillo Ponderado		Para junta de compresión. Equipo de soldadura para soldar el anclaje a la armadura principal en el tablero. Herramientas manuales/mecánicas para comprimir y expulsar el sello. Rodillo ponderado para colocar el sello en su lugar.

Sl. No.	Descripción del Trabajo/Actividad	Equipo	Ref. a MoRTH Especificaciones (Quinta revisión) Cláusula/Sección	Observaciones
		vii) Equipo de soldadura + barra de palanca		Para junta de sellado de tira/caja única o modular. Barra de palanca para insertar el sellado entre las vigas de borde o separación.
Obras de Protección y Alineación de Ríos				
14.	Manto colocado directamente o en jaulas de alambre en el lecho del río o Enlosado/revestimiento en pendientes o Solado de piedra o bloque de hormigón de cemento sobre lecho de hormigón de cemento (protección del suelo)	i) Camión volquete o Remolque de tractor	2503, 2504, 2505, 2506, 2507	Para el transporte de piedras/rocas.
		ii) Cargadora retroexcavadora		Para la preparación de la base.
		iii) Herramientas de recorte		Para preparar el lateral de la orilla del río hasta la pendiente y perfil requeridos.
		iv) Derrick		Para la colocación de piedras/rocas, generalmente en el caso de encajonado o en pendientes
		v) Grua o Plataforma inclinable/ Pontón/ Barcaza		Para la colocación de cajas de alambre llenas en condiciones submarinas, en el caso de un delantal.

Sl. No.	Descripción del Trabajo/Actividad	Equipo	Ref. a MoRTH Especificaciones (Quinta revisión) Cláusula/Sección	Observaciones
		vi) Planta de mezcla y mezcladora de concreto, generador eléctrico, equipo de colocación de concreto, encofrado/molde y vibrador de concreto.0		Para la preparación de bloques de hormigón de cemento y hormigón de cemento. pared del pie y ropa de cama (para protección del suelo).
Reparación y rehabilitación				
15.	Sellado de grietas mediante la inyección de resina epoxi	i) Cepillo de alambre o compresor de aire + equipo de chorro de arena o bomba de agua (para chorro de agua).	2803	Para limpieza/preparación de la superficie.
		ii) Bomba + boquilla o pistola de inyección de epoxi + compresor de aire.		Para la inyección de epoxi.
16.	Reemplazo del concreto descascarado mediante mortero epoxi/mortero polimérico.	i) Amoladora o escarificadora o compresor de aire + equipo de granallado abrasivo o bomba de agua (para chorreo de agua).	2804	Para la preparación de la superficie mediante medios mecánicos.

Sl. No.	Descripción del Trabajo/Actividad	Equipo	Ref. a MoRTH Especificaciones (Quinta revisión) Cláusula/Sección	Observaciones
		ii) Para la aplicación de pintura o revestimiento, se utiliza una pistola de pulverización, rodillo de goma resistente o un cepillo de cerdas de nailon		Para la aplicación de la capa de imprimación de epoxi o la capa de unión de polímero.
		iii) Herramienta de desbastado o llana		Para aplicación de mortero epoxi.
17.	Lechada de cemento.	i) Cepillo de alambre	2806	Para la limpieza de superficies.
		ii) Compresor de aire		
		iii) Taladro		
		iv) Equipo de lechada		
18.	Proyección de mortero (gunitado) o aplicación de concreto proyectado.	i) Compresor de aire + Equipo de proyección de concreto.	2807	
		ii) Camión cisterna		
19.	Reemplazo o corrección de rodamientos.	i) Gato elevador	2810	Para el levantamiento de tramos de superestructuras; Preferible con una capacidad mínima de levantamiento de 40 toneladas.
20.	Remoción de la capa de desgaste existente, incluyendo su disposición	i) Martillo neumático o martillo hidráulico	2811	
		ii) Tractor con remolque o camión volquete		

Sl. No.	Descripción del Trabajo/Actividad	Equipo	Ref. a MoRTH Especificaciones (Quinta revisión) Cláusula/ Sección	Observaciones
21.	Proporcionar pretensado externo con alambres/cordones de acero de alta resistencia, incluida la perforación para el paso del acero de pretensado.	i) Equipo de Pretensado ii) Equipo de Inyección iii) Grupo Electrógeno iv) Perforar	2812	

6. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO ESENCIAL PARA TRABAJOS DE PUENTES

Gran parte del equipo utilizado para trabajos de puentes ya se ha descrito en la **Sección 4**.

Otros equipos esenciales para trabajos de puentes se discuten a continuación:

6.1 Equipo de Colocación de Hormigón

6.1.1 El hormigón se mezcla en el sitio del proyecto o se transporta al sitio en una hormigonera de tránsito o camión agitador. Luego, debe colocarse en su posición final sin segregación y antes de que haya alcanzado un conjunto inicial. Dependiendo de la distancia horizontal y vertical del movimiento del hormigón y otras restricciones, están disponibles los siguientes medios para la colocación del hormigón:

i) Cubos de Hormigón
ii) Tolva e Izado
iii) Carretillas y Carretillas de Mano
iv) Canaletas
v) Tubos de Caída
vi) Transportadores de Banda
vii) Bombas de Hormigón

6.1.2 Cubo de Hormigón – Comúnmente levantados por grúas, los cubos de hormigón deben seleccionarse de modo que puedan levantarse de manera segura a las ubicaciones de colocación de hormigón requeridas por la grúa del sitio de trabajo. La selección del tamaño del cubo se rige por la tasa de producción deseada. Cuanto mayor sea el tamaño del cubo,

menor será la cantidad de ciclos de trabajo necesarios para ejecutar una colocación de hormigón determinada. En consecuencia, la grúa debe seleccionarse de modo que su capacidad de elevación sea mayor que el peso del cubo cargado.

La compuerta de descarga (generalmente de tipo mariposa) en la parte inferior del cubo puede operarse manualmente o con la ayuda de una fuente de energía externa. Dado que el cubo debe levantarse, bajarse y balancearse libremente, no es factible tener una línea de conexión permanente para suministrar energía a la compuerta de descarga. Una técnica efectiva para operar la compuerta con energía externa es mediante aire comprimido. Se puede conectar una línea de aire comprimido al cubo por medio de un acoplamiento de conexión rápida y se puede desacoplar simplemente girando.

6.1.3 Tolva e Izado – Este método se utiliza para transportar hormigón verticalmente. En el nivel del suelo, primero se carga la tolva con hormigón y luego viaja verticalmente. sobre rieles hasta el nivel deseado, donde descarga el hormigón mediante operación manual o automática. La elevación de la tolva es accionada por un malacate de capacidad mínima de 0.5 toneladas.

6.1.4 Carretillas y Carretillas a Mano – Las carretillas y carretillas de mano son adecuadas para la colocación de hormigón a corta distancia. Se utilizan para pequeños trabajos o como un medio complementario en proyectos que utilizan grúas o bombas de hormigón como el equipo principal de colocación de hormigón. Al considerar el uso de carretillas y carretillas de mano, debe tenerse en cuenta el gasto de construir rampas, pasarelas y configuraciones similares, ya que solo pueden operar en superficies lisas y rígidas.

Las carretillas pueden ser manuales (carretillas de mano) o autopropulsadas (carretillas eléctricas). La carretilla eléctrica tiene un único mecanismo de volcado controlado hidráulicamente por palanca.

6.1.5 Canaleta – Las canaletas se utilizan a menudo para transferir hormigón de una elevación más alta a una elevación más baja. Deben tener un fondo redondo y la pendiente debe ser lo suficientemente pronunciada como para que el hormigón fluya continuamente sin segregación. Las hormigoneras de tránsito normalmente están equipadas con canaletas incorporadas basculantes (y a menudo extensibles). Estas canaletas son operadas hidráulicamente para la colocación directa de la mezcla cuando la ubicación del hormigonado está dentro del alcance de la canaleta.

6.1.6 Tubo de Caída – Los tubos de caída se utilizan para transferir el hormigón verticalmente hacia abajo. Se utilizan cuando el hormigón se coloca en una pared o columna para evitar la segregación causada al permitir que el hormigón caiga libremente a través del refuerzo. Se produce una operación de cimbra cuando se utiliza un tubo de caída (que en este

caso se denomina tubo de cimbra) para colocar hormigón bajo el agua. El extremo inferior de un tubo de cimbra se mantiene continuamente sumergido en hormigón plástico fresco.

6.1.7 Transportador de Banda – Los transportadores de banda proporcionan un rápido movimiento de hormigón fresco. Se requiere la selección del tamaño adecuado de la banda y la velocidad para lograr la velocidad de transporte deseada. Se debe prestar especial atención a los puntos donde el hormigón sale de un transportador para continuar en otro transportador o se descarga, y en los puntos donde la banda pasa sobre los rodillos, para que no ocurra segregación en ninguno de estos puntos.

Los transportadores de banda se pueden clasificar en tres tipos:

i) Transportadores portátiles o autónomos
ii) Alimentadores o transportadores en serie
iii) Descargadores laterales o esparcidores

6.1.8 Bomba de Hormigón – La bomba de hormigón se cubre en la **Sección 6.2**.

6.2 Bomba de Hormigón

6.2.1 Concrete Las bombas de hormigón permiten altas tasas de colocación y son útiles cuando el espacio para equipos de construcción es limitado.

Para funcionar correctamente, la bomba debe alimentarse con hormigón de trabajabilidad y consistencia uniformes y con fluidez y cohesión adecuadas. Las bombas de hormigón son accionadas por el motor de los camiones sobre los que están montadas o por un motor diésel separado o un motor eléctrico.

6.2.2 Las bombas de hormigón suelen clasificarse en función de las siguientes características:

i) Tipo de unidad de bombeo
ii) Modo o frecuencia de transporte
iii) Forma de transporte
iv) Entrega de mezcla de hormigón con asistencia

Table 31 ilustra la clasificación de bombas de hormigón.

Table 31: Clasificación de la bomba de hormigón

Sl.No.	Base de Clasificación	Tipo	Ejemplo
1.	Tipo de unidad de bombeo	Pistón	Accionado Hidráulicamente
			Accionado Mecánicamente
			Pistón Sencillo
			Pistón Múltiple
		Rotativo	Vacío
			Elástico
2.	Modo o frecuencia de transporte	Autopropulsado móvil	Montado en camión
		No auto - propulsado móvil	Montado en remolque
		Estacionario	Montado en patín / Fijo en su lugar
3.	Forma de transporte	Con pluma de distribución integral	Montado en camión (Bomba con pluma)
		Con pluma de distribución separada	Brazo articulado de distribución (con patas de soporte)
			Pluma montada en torre
		Con manguera conectada de transporte	Tubería y/o manguera que van desde la bomba hasta el lugar de colocación (Bomba de línea)
4.	Entrega de mezcla de hormigón con asistencia	Con aire presurizado	Hormigón proyectado (Proyección de hormigón)

6.2.3 Bomba de pistón (Figura 81) – Las bombas de hormigón más comunes suelen ser del tipo de pistón y consisten en una tolva receptora, dos cilindros de bombeo de hormigón y un sistema de válvulas para dirigir alternativamente el flujo de hormigón hacia los cilindros de bombeo y desde allí hacia la tubería. Un cilindro de hormigón recibe hormigón de la tolva receptora mientras que la otra descarga hacia la tubería para proporcionar un flujo relativamente constante de hormigón a través de la tubería hacia el área de colocación. Los pistones en los cilindros de hormigón crean un vacío para atraer el hormigón en la carrera de admisión y lo empujan mecánicamente hacia la tubería en la carrera de descarga. Estos pistones son accionados por cilindros hidráulicos en la mayoría de las bombas, pero también pueden ser accionados mecánicamente.

El uso de un agitador en la tolva receptora/de alimentación ayuda a mantener la fluidez del hormigón y evita que se endurezca.

En el caso de distancias de bombeo muy grandes, se puede adoptar un bombeo de relevo utilizando bombas en serie.

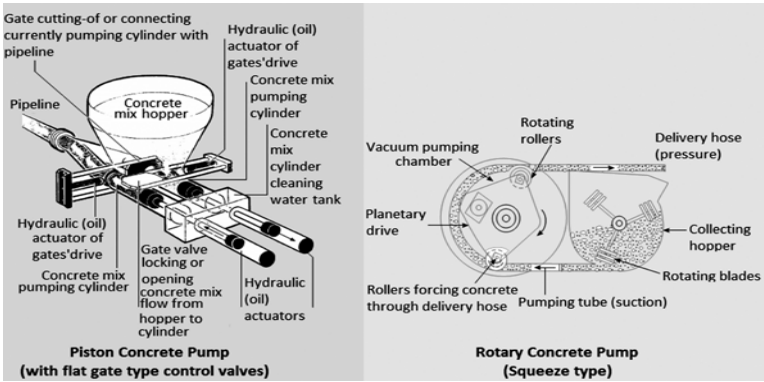


Figura 81: Bombas de hormigón de pistón y rotatorias

Corte de compuerta o conexión del cilindro de bombeo actual con la tubería, Actuador hidráulico (aceite) de accionamiento de puertas, Mezcla de concreto, Bombeo, Tubería, Tolva de mezcla de hormigón cilindro mezcla de concreto, Limpieza de cilindros depósito de agua, Rodillos giratorios, Cámara de bombeo de vacío, Propulsión planetaria, Actuador hidráulico (aceite) de accionamiento de puertas, Cilindro de bombeo de mezcla de concreto, Válvula de compuerta que bloquea o abre el flujo de mezcla de concreto desde la tolva al cilindro Aceite hidráulico) actuadores, Bomba de hormigón de pistón (con válvulas de control tipo compuerta plana), Rodillos que empujan el hormigón a través de la manguera de suministro Tubo de bombeo (succión), Manguera de suministro (presión), Tolva recolectora, Cuchillas giratorias, Bomba de hormigón rotativa (tipo exprimido)

6.2.4 Bomba Rotatoria (Figura 81) – En este tipo de bomba (también llamada bomba de exprimido), se utiliza una acción peristáltica para impartir energía a la mezcla de hormigón con la intención de transportar la mezcla hacia y a través de la tubería de transporte y/o manguera. El hormigón en la tolva receptora/de alimentación es alimentado por las paletas giratorias hacia una manguera flexible que está conectada y ajustada dentro de la cámara de bombeo. Los rodillos (dos o más en número), que están montados en trenes de engranajes planetarios en la circunferencia externa de un conjunto de rotor accionado por un motor hidráulico, giran sobre la manguera flexible dentro de la cámara de bombeo y exprimen progresivamente el hormigón hacia el puerto de descarga. Posteriormente, a medida que la manguera elástica vuelve a su forma original (es decir, cilíndrica) después del paso del rodillo, se induce el flujo de hormigón desde la tolva hacia la bomba. El mantenimiento de la cámara de bombeo bajo vacío puede garantizar que, excepto cuando está siendo exprimida por el rodillo, la forma de la manguera permanezca cilíndrica para que se permita un flujo continuo de hormigón.

6.2.5 Bomba con tubería – En esta configuración, también denominada bomba de línea, la tubería (rígida o flexible) es un sistema

separado que debe ensamblarse mediante acoplamientos rápidos y conectarse a la bomba antes de iniciar la operación de bombeo. La tubería se coloca desde la ubicación de la bomba hasta el área de colocación de hormigón. La bomba se ubica con buen acceso a la hormigonera de tránsito o el camión agitador. En el caso de una planta central de dosificación y mezcla de hormigón ubicada en el sitio de trabajo, la bomba se coloca con la tolva justo debajo de la abertura de descarga de la mezcladora. El extremo libre de la tubería tiene conectada una manguera de goma flexible para un mejor control de la ubicación de descarga del hormigón y para facilitar el manejo por parte de los trabajadores que tienen que dirigir el extendido del hormigón. Sin embargo, sostener y mover el extremo de la tubería puede resultar difícil dado su peso cuando está llena de hormigón. En tales casos, es deseable utilizar una pluma distribuidora especial liviana, que se conecta al extremo de la tubería rígida y se soporta sobre una base lastrada. Todo el conjunto articulado de la pluma se levanta con grúa para cambiarlo de ubicación a medida que avanza el hormigonado.

La bomba puede ser estacionaria o móvil (montada sobre un camión o remolque).

6.2.6 Bomba con pluma de distribución integral (Figura 82) – En esta configuración, también denominada bomba de pluma, la bomba está montada sobre un camión y está equipada con una pluma giratoria (orientable) a la que se conecta una tubería de suministro de longitud fija. La pluma se acciona hidráulicamente y consta de tres a seis secciones articuladas. Para una longitud de pluma dada, un mayor número de secciones proporciona a la pluma una mayor maniobrabilidad. La longitud de la pluma indica el alcance vertical máximo de la pluma, medido desde el suelo. El alcance horizontal máximo se mide desde el eje de orientación de la pluma. El alcance horizontal efectivo depende de la marca y el tamaño del camión, y se deben considerar las dimensiones específicas de la pluma y las dimensiones del camión al seleccionar una bomba montada en camión para una operación de hormigonado determinada.

Dado que el alcance de las bombas de pluma es limitado, estas bombas utilizan hormigón premezclado con la bomba posicionada óptimamente para permitir la máxima cobertura del área de hormigonado para cada operación de hormigonado.

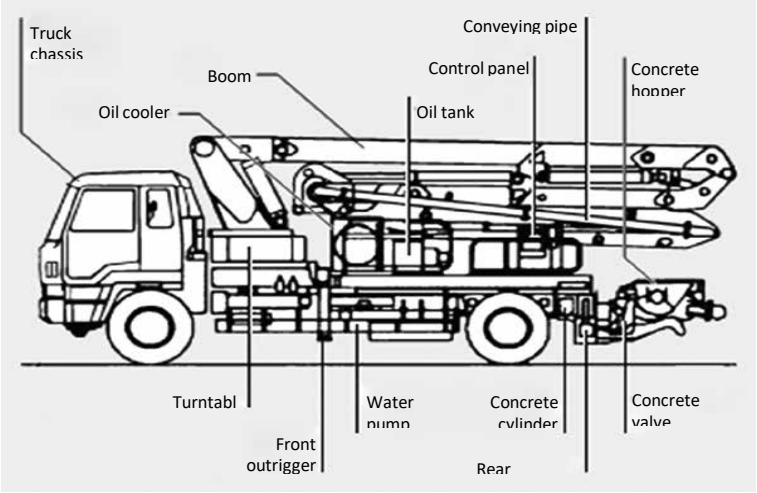


Figura 82: Bomba de Concreto Montada en Camión con Pluma de Distribución Integrada

Chasis de camión, Auge, Enfriador de aceite tubo de transporte, Panel de control, Tanque de aceite, Tolva de hormigón, Placa giratoria, Estabilizador delantero, Bomba de agua, Cilindro de hormigón, Válvula de hormigón, Estabilizador trasero

6.2.7 Bomba con Pluma de Distribución Separada – Esta configuración consta de una bomba estacionaria o móvil en el extremo de carga de concreto, una pluma de distribución separada articulada hidráulicamente en el extremo de colocación de concreto y una tubería intermedia que conecta la bomba con la pluma.

Para aplicaciones que puedan verse afectadas por el alcance limitado de las bombas con pluma debido a un gran alcance horizontal/vertical de distribución (por ejemplo, en el caso de concreto bajo el agua en un puente de gran luz sobre un cuerpo de agua profundo con pilares largos), se recomienda utilizar una bomba con pluma de distribución separada.

6.2.8 La selección de la bomba de concreto está principalmente gobernada por dos parámetros importantes: la producción volumétrica máxima (en m^3/hora) y la presión máxima de bombeo. Para lograr una producción de concreto específica en el sitio, es esencial determinar, de la manera más precisa posible, la presión de bombeo requerida, de modo que, junto con la producción deseada, se pueda desarrollar una base racional para seleccionar una bomba. La presión de bombeo dependerá de factores como la longitud total (incluida la distancia horizontal y/o vertical sobre la cual se bombeará el concreto), el diámetro de la tubería de entrega, cambios direccionales en la tubería, la consistencia del concreto y la producción de entrega.

6.2.9 Para obtener más información sobre bombas de concreto, consulta IS/ISO:21573 (Parte 1).

6.3 Equipo de Hundimiento Neumático

6.3.1 El Equipo de Hundimiento Neumático (Figura 83) consta de lo siguiente:

i) Cámara de Trabajo
ii) Esclusas de Aire
iii) Compresor de Aire
iv) Planta de Acondicionamiento de Aire
v) Válvulas de Escape
vi) Sistema de Iluminación

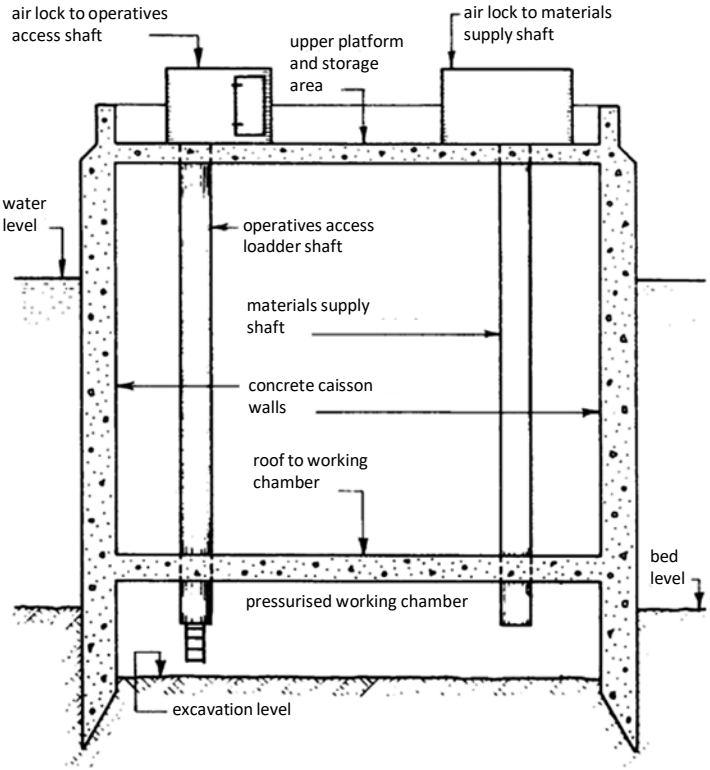


Figura 83: Equipo de hundimiento neumático

Esclusa de aire para el eje de acceso de los operadores, Nivel de Agua, Plataforma superior y área de almacenamiento, Esclusa de aire al eje de suministro de materiales, Los operarios acceden al eje del cargador, Eje de suministro de materiales, Muros de cajón de Hormigón, Techo a la cámara de trabajo, Cámara de trabajo presurizada nivel de excavación nivel de la cama

6.3.2 **Cámara de Trabajo** – Cuando los cajones están diseñados para hundirse bajo aire comprimido, suele ser habitual proporcionar una única cámara de trabajo en lugar de tener varias cámaras de trabajo separadas

por paredes transversales. La cámara única es una disposición conveniente para minimizar la resistencia al hundimiento, ya que la resistencia solo se da en las paredes exteriores. No es necesario controlar el hundimiento mediante excavación diferencial desde varias celdas, ya que el control de la posición y verticalidad se puede lograr fácilmente por otros medios, por ejemplo, mediante el uso de puntales y cuñas debajo del borde de corte o mediante excavación diferencial debajo del borde de corte.

El techo de la cámara de trabajo (llamado voladizo) debe construirse de manera robusta, ya que puede tener que resistir altas presiones de aire sobre una amplia extensión.

El acceso a la cámara de trabajo se realiza a través de pozos. Dado que todo el material excavado debe elevarse a través de los pozos, estos deben tener una capacidad adecuada en tamaño y número para pasar la cantidad requerida de material excavado en cubos a través de las esclusas de aire para cumplir con la velocidad de hundimiento deseada. El pozo de aire suele ser ovalado en planta y se divide en dos compartimentos mediante una escalera vertical. Un compartimento se utiliza para elevar y bajar cubos de material excavado y el otro es para los trabajadores. En el caso de cajones más grandes (donde participan 15 o más trabajadores), se proporcionan pozos de aire separados para el material excavado y los trabajadores.

6.3.3 Esclusas de Aire – La esclusa de aire es un recipiente de presión de acero hecho en forma de una cámara con dos puertas. Una puerta se abre al exterior y la otra al pozo de aire. Esta disposición permite mantener una presión de aire constante en la cámara de trabajo durante el paso de hombres y material. Una de las puertas siempre debe permanecer cerrada para evitar que la presión de aire comprimido en la cámara de trabajo disminuya. En cajones pequeños, una esclusa de aire cumple varias funciones: se utiliza como entrada a la cámara de trabajo; para el transporte de material excavado; y para suministrar concreto para llenar la cámara de trabajo al final del hundimiento. En cajones más grandes, se proporcionan esclusas separadas para hombres y material excavado.

La esclusa de aire se monta en la parte superior del pozo de aire y es esencial para la seguridad de los trabajadores asegurarse de que la esclusa siempre esté por encima de los niveles más altos de mareas o inundaciones fluviales, con un margen de seguridad suficiente para permitir una rapidez inesperada en el hundimiento del cajón. Alternativamente, las esclusas de aire pueden protegerse contra las inundaciones construyendo el revestimiento exterior o proporcionando un dique alrededor de la parte superior del cajón hasta la altura requerida.
El tamaño de las esclusas de aire y los pozos de aire está gobernado en gran medida por la cantidad de material que se va a excavar, es decir, por el tamaño del cubo de escombros.

6.3.4 Compresor de Aire – El aire comprimido para la cámara de trabajo se suministra desde una planta de compresores a través de esclusas de

aire, pozos de aire y un sistema de distribución de tuberías. Según la ubicación del cajón, la planta de compresores puede estar en tierra o montada en una barcaza.

Los compresores para suministro de aire suelen ser del tipo estacionario. Idealmente, deberían ser accionados por motores de velocidad variable para permitir que el suministro se incremente progresivamente a medida que el cajón se hunde más profundamente.

6.3.5 Planta de Acondicionamiento de Aire – Se pueden garantizar mejores condiciones de trabajo y una mayor inmunidad a la cámara de aire comprimido mediante el uso de una planta de aire acondicionado. La planta debe aspirar a eliminar la humedad y el aceite, y calentar el aire para trabajar en condiciones climáticas frías o enfriar el aire para trabajar en condiciones climáticas cálidas.

6.3.6 Válvulas de Escape – Se deben proporcionar válvulas de escape con elevadores que se extiendan hasta la parte superior de la cámara. Estas deben operarse cuando sea necesario, especialmente después de una explosión. Se deben tomar precauciones para que los trabajadores no reanuden el trabajo después de una explosión hasta que el gas y el humo se hayan disipado.

6.3.7 Sistema de Iluminación – Toda la iluminación en cámaras de aire comprimido solo debe funcionar con electricidad. Se deben utilizar dos sistemas de iluminación eléctrica independientes con fuentes de suministro independientes. Estos deben estar dispuestos de manera que la fuente de emergencia se active automáticamente en caso de fallo de la fuente regularmente utilizada.
La intensidad mínima de luz en cualquier escalera de paso, escalera o nivel de trabajo inferior debe ser de 0.25 candelas. En todos los lugares de trabajo, la iluminación siempre debe ser suficiente para permitir a los trabajadores ver claramente su entorno. Todas las partes externas de las características de iluminación y equipos eléctricos que se encuentren dentro de 2.5 m sobre el suelo deben construirse con materiales aislantes no combustibles y no absorbentes. Si se utiliza metal, debe estar conectado a tierra de manera efectiva. Las lámparas portátiles deben tener enchufes aislantes no combustibles y no absorbentes, mangos aprobados, protectores y cables aprobados.
6.3.8 Se deben seguir las disposiciones de seguridad contenidas en la norma IS:4138 y la **Sección 1208.8** de las Especificaciones del MoRTH para Obras de Carreteras y Puentes.

6.4 Martillo Piloteador

6.4.1. Por lo general, se instalan pilotes conducidos según criterios establecidos, como un recuento mínimo de golpes por penetración unitaria o una penetración mínima.

La función de un martillo piloteador (o Piloteadora) es proporcionar la energía necesaria para impulsar un pilote. El martillo piloteador suele estar

montado en una plataforma de pilotes (**Figura 84**).

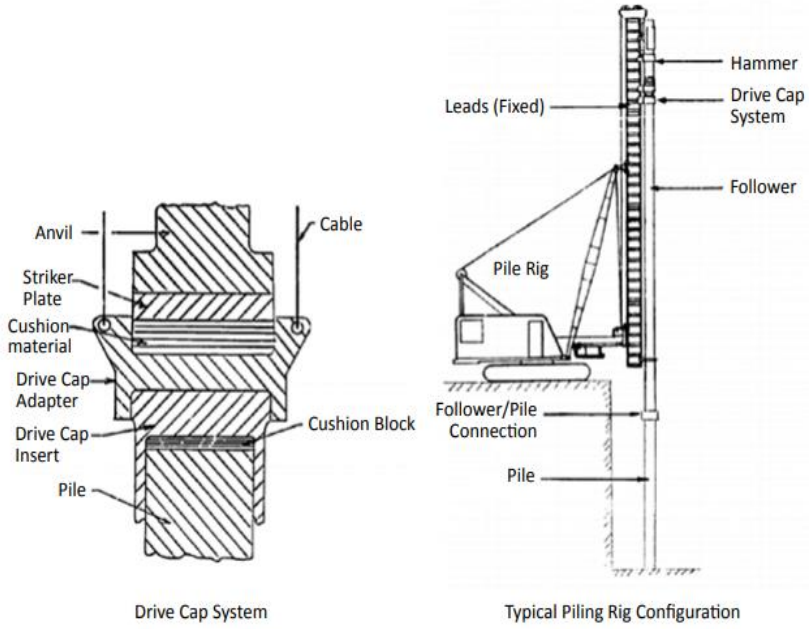


Figura 84: Plataforma de pilotaje

Martillo, Cables (fijos), Sistema de tapa de unidad, Seguidor, Yunque, Cable, Huelguista, Lámina, Plataforma de pilotes, Material del cojín, Adaptador de tapa de unidad, Inserto de tapa de unidad, Montón, Bloque de cojín, Conexión seguidor/pila, Montón, Sistema de tapa de unidad, Configuración típica de plataforma de pilotaje

6.4.2 Los martillos piloteadores se designan por tipo y tamaño. Se dispone de diferentes tipos de martillos piloteadores para adaptarse a varias condiciones subsuperficiales, y se discuten a continuación:

i) Tipo de caída
ii) Tipo de acción única (vapor o aire comprimido)
iii) Tipo de acción doble (vapor o aire comprimido)
iv) Tipo de acción diferencial (vapor o aire comprimido)
v) Tipo diésel
vi) Tipo hidráulico
vii) Tipo Vibratorio

Martillo de Caída (Figura 85) – Un martillo de caída es un pesado peso de metal que se eleva mediante una línea de polea, luego se libera y se deja caer sobre la parte superior del pilote. Se coloca una capa de pilote entre el martillo y la cabeza del pilote debido a las altas fuerzas dinámicas, y sirve para distribuir uniformemente el golpe en la cabeza del pilote y, por lo tanto, actúa como un amortiguador de impacto.

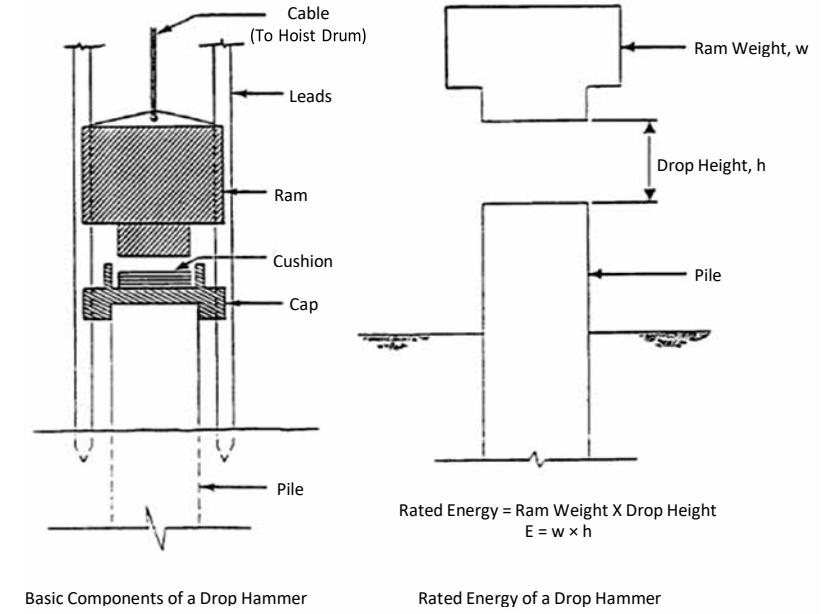


Figure 85: Martillo de caída

Cable (al tambor de elevación), Peso del ariete, Dirige, Altura de caída, RAM, Almohadón, Montón, Gorra, Energía nominal = Peso del ariete X Altura de caída E = ancho x alto, Componentes básicos de un martillo de caída, Energía nominal de un martillo de caída

El martillo puede soltarse liberándolo para que caiga libremente o aflojando la banda de fricción en el tambor de izado y permitiendo que el peso del martillo desenrolle la cuerda del tambor. Este último tipo de liberación reduce la energía efectiva del martillo debido a la pérdida por fricción en el tambor y la cuerda. Los soportes se utilizan para sostener el pilote en posición y guiar el movimiento del martillo para que golpee el pilote axialmente.

Un martillo de caída es adecuado para conducir pilotes en proyectos remotos que requieren solo unos pocos pilotes y para los cuales el tiempo de finalización no es un factor importante.

Martillo de simple efecto (Figura 86) – Un martillo de vapor o aire de acción simple consta de un peso que cae libremente (llamado maza), que es elevado por vapor o aire comprimido, cuya presión se aplica en la parte inferior de un pistón que está conectado a la masa a través de una varilla. Cuando el pistón alcanza la parte superior del recorrido, la presión de vapor o aire se libera y la maza cae libremente por su propio peso para golpear la parte superior de un pilote. Estos martillos confían únicamente en la gravedad actuando sobre el peso de golpeo a través de una distancia para lograr su energía de impacto.

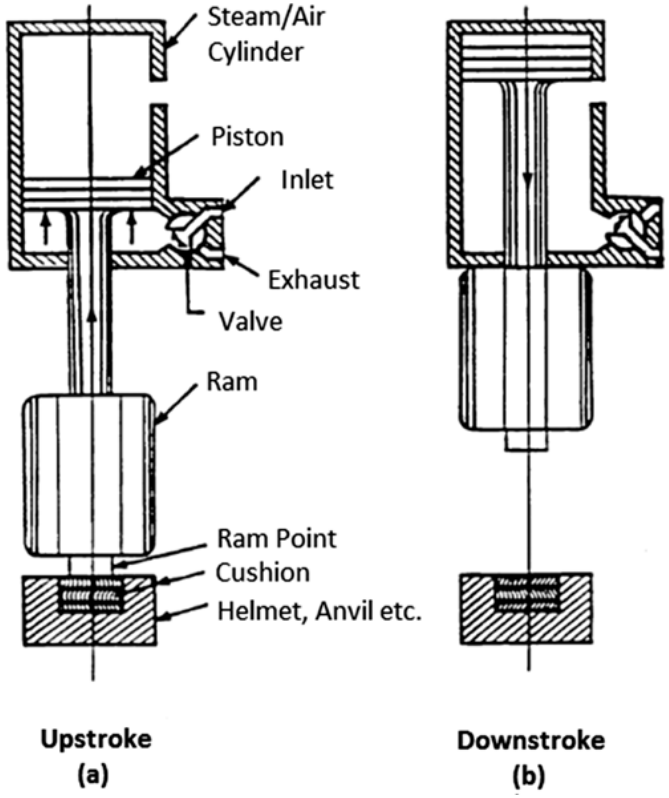


Figura 86: Un martillo de acción simple.

Vapor/Aire, Cilindro, Pistón, Entrada, Escape, Válvula, RAM, Punto de carnero, Almohadón, Casco, yunque, Golpe ascendente, (a) Golpes ascendentes, (b)Golpes descendentes

El casquillo de golpeo (o yunque o casco) se coloca entre el martillo y la cabeza del pilote para distribuir uniformemente el impacto en esta.

Normalmente se utiliza un martillo de acción simple en un guía de pilotes, aunque puede adaptarse para operar suspendido libremente.

Este tipo de martillo puede realizar más golpes por minuto que un martillo de caída.

Martillo de doble efecto (Figura 87) – En un martillo de doble acción, el émbolo golpeador es impulsado por aire comprimido o vapor tanto al subir como al bajar. El aire o vapor entra en una caja de válvulas que contiene una válvula deslizante que lo envía alternativamente a cada lado del émbolo, mientras que el lado opuesto está conectado a los puertos de escape. De esta manera, con un peso determinado de émbolo, es posible lograr una cantidad deseada de energía por golpe con un recorrido más corto que con un martillo de acción simple más largo.

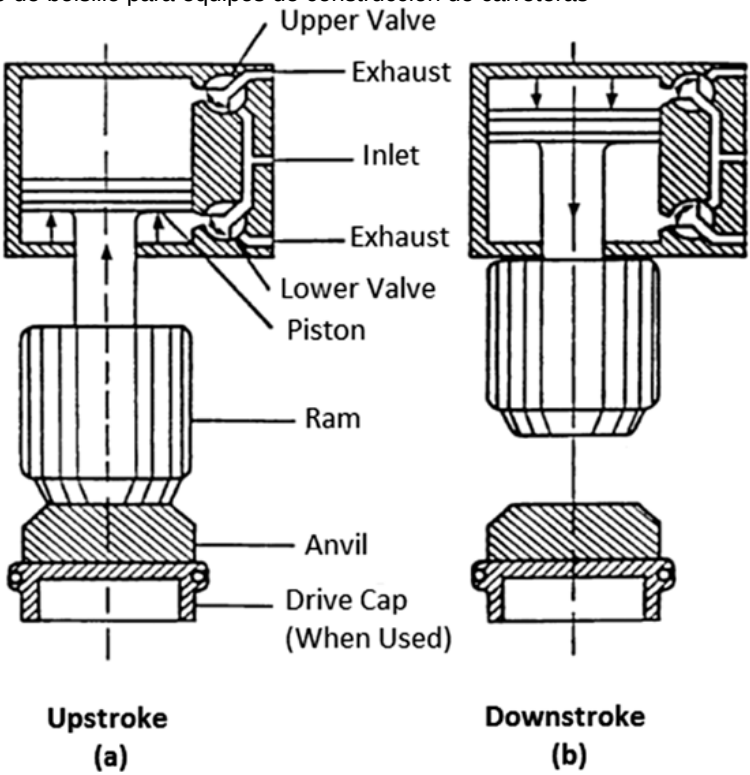


Figura 87: Martillo de doble efecto

Válvula superior, Escape, Entrada, Escape, Válvula inferior, Pistón, RAM, Yunque, Tapa de transmisión (cuando se usa), (a) Golpe ascendente, (b) Golpe descendente

Un martillo de doble efecto puede golpear más veces por minuto que un martillo de simple efecto.

El martillo de doble acción, con una maza más ligera y una velocidad de impacto más alta, puede ser ventajoso al conducir pilotes de peso ligero a medio en suelos con una resistencia normal a la fricción. La alta frecuencia de impactos mantiene un pilote en movimiento continuo hacia abajo, previniendo así que se desarrolle fricción estática entre los impactos. Sin embargo, al conducir pilotes pesados, especialmente en suelos con alta resistencia a la fricción, el peso más pesado y la velocidad más lenta de un martillo de acción simple transmitirán una mayor parte de la energía nominal hacia la conducción de los pilotes.

Martillo de acción diferencial (Figure 88) – Aquí, la presión de aire o vapor utilizada para levantar el pistón no se libera al final de la carrera ascendente, sino que se dirige sobre el pistón para acelerar el pistón en la carrera descendente.

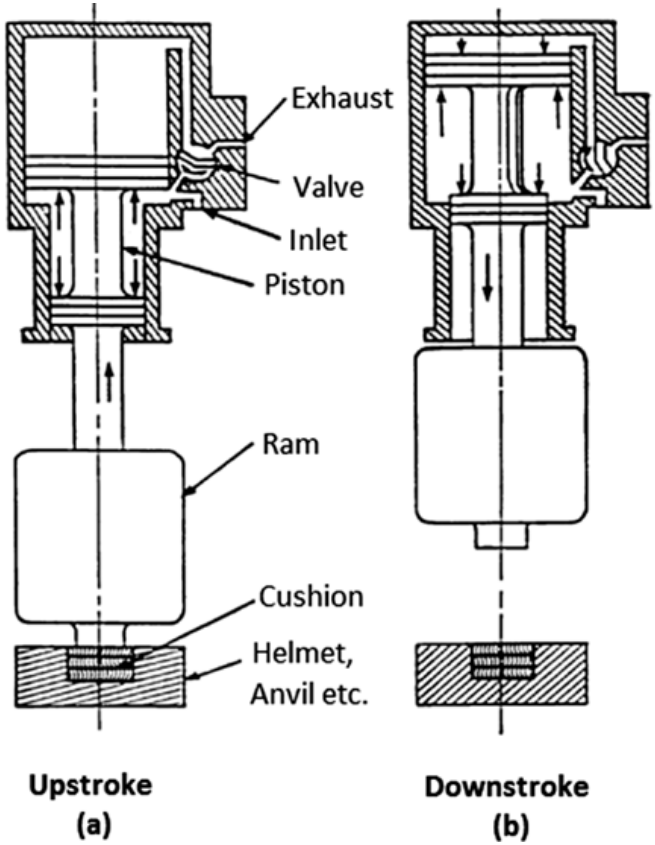


Figura 88: Martillo de acción diferencial

Escape, Válvula, Entrada, Pistón, RAM, Almohadón, Casco, yunque, (a) Golpe ascendente, (b) Golpe descendente

El número de golpes por minuto es comparable al de un martillo de doble acción, mientras que el peso y la caída libre equivalente del pistón son comparables a los de un martillo de simple acción.

Estos martillos requieren el uso de una tapa de pilote con material amortiguador y un conjunto de guías.

Martillo Diésel (Figura 89) – Es una unidad de conducción autónoma que no requiere una fuente externa de energía como un compresor de aire o caldera de vapor. Por lo tanto, es más simple y fácilmente movible de un lugar a otro que un martillo de vapor.

Una unidad de martillo diésel consta de un cilindro vertical, un pistón o maza, un yunque, tanques de combustible y aceite lubricante, una bomba de combustible, inyectores y un lubricador mecánico.

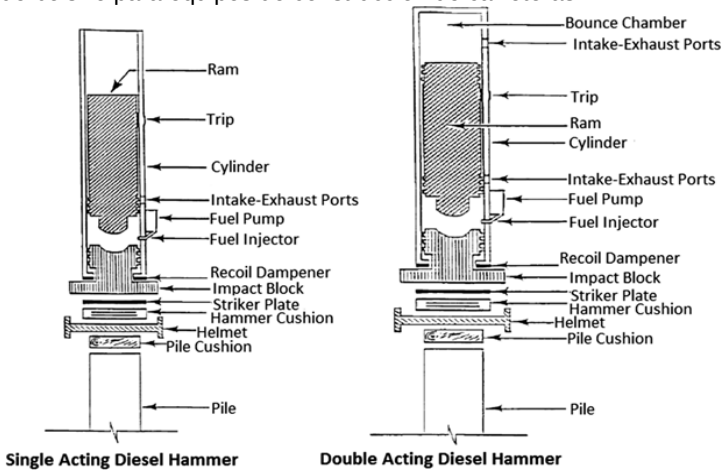


Figure 89: Martillo diésel

Cámara de rebote, Puertos de admisión y escape, RAM, Viaje, Puertos de admisión-escape, Bomba de combustible, Inyector de combustible, Amortiguador de retroceso, Bloque de impacto, Cerradero, Cojín de martillo, Casco, Cojín de pelo, Montón, Martillo diésel de doble efecto

Figure 90 El ciclo operativo de un martillo diésel de simple acción se ilustra de la siguiente manera: Después de que el martillo se coloca en la parte superior del pilote, el pistón y la maza combinados son elevados por un dispositivo de elevación (por ejemplo, un cable de grúa) hasta el extremo superior del recorrido y se sueltan para iniciar el funcionamiento de la unidad. A medida que la maza cae libremente y se acerca al final del recorrido hacia abajo, activa una bomba de combustible que inyecta el combustible en la cámara de combustión entre la masa y el yunque. Tan pronto como la maza pasa los puertos de escape, se atrapa aire en la cámara de combustión. El recorrido continuo hacia abajo de la maza comprime el aire y el combustible hasta alcanzar la temperatura de ignición. La explosión resultante impulsa el pilote hacia abajo y la maza hacia arriba para repetir su golpe. La energía por golpe puede ser controlada por el operador (a través de un inyector de combustible variable operado manualmente) según sea necesario.

El funcionamiento de un martillo diésel de doble acción difiere del de un martillo diésel de simple acción en el sentido de que la parte superior del cilindro está tapada y tiene una "cámara de rebote", que comprime el aire a medida que la maza alcanza cerca del tope de su recorrido hacia arriba y detiene el ascenso de la maza cuando se acumula suficiente presión. Luego, la maza comienza su recorrido hacia abajo bajo el efecto tanto de la gravedad como de la presión interna generada en la "cámara de rebote". El resto del ciclo de operación es similar al de un martillo diésel de simple acción.

Los martillos diésel requieren un casquillo para pilotes con material amortiguador para proteger las cabezas de los pilotes durante el proceso de hincado.

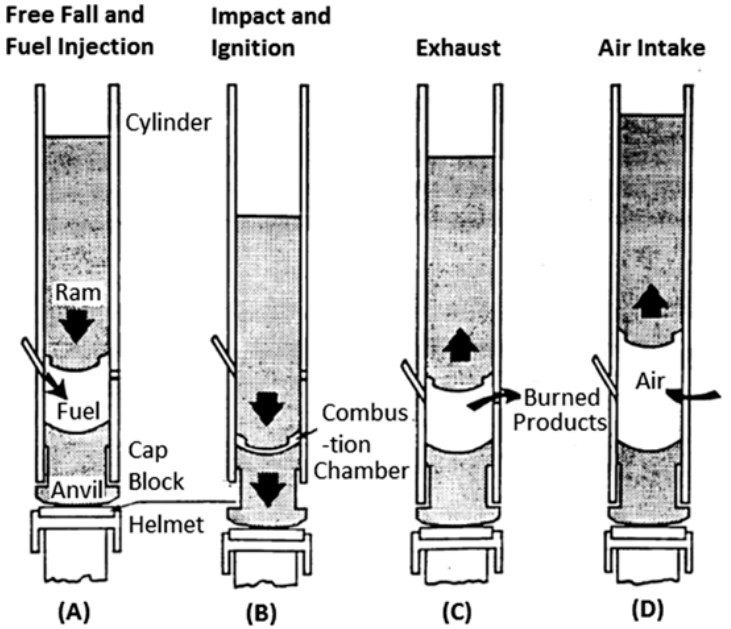


Figura 90: Ciclo de operación del martillo diésel de simple efecto

Caída libre e inyección de combustible, Impacto y encendido, Cilindro, Escape, Combustible, Bloque de tapa Yunque, Casco, Cámara de combustión, Aire, Productos quemados, Toma de aire, RAM

Martillo hidráulico – Es más eficiente que los martillos de vapor, aire o diésel. Funciona con la presión diferencial de un fluido hidráulico en lugar de aire comprimido o vapor.

Puede ser de dos tipos: martillo hidráulico de caída (o de acción simple) y martillo hidráulico de doble acción.

En un martillo hidráulico de caída, el pistón se eleva mediante presión hidráulica a una altura predeterminada y luego se deja caer libremente sobre el yunque debido a la gravedad. Con estos martillos, la altura de la caída se puede variar para adaptarse a las condiciones del pilote y del terreno.

En un martillo hidráulico de doble acción, el movimiento del pistón tanto en el golpe ascendente como en el descendente se facilita mediante presión hidráulica. La energía neta aplicada al pilote por el pistón acelerado se mide durante cada golpe en un panel de control y puede regularse continuamente.

Martillo vibratorio (Figura 91) – El martillo está equipado con dos ejes horizontales a los que se conectan pesos excéntricos. A medida que los ejes giran en direcciones opuestas, se generan vibraciones en dirección vertical y luego se transmiten al pilote al estar conectado rígidamente al martillo mediante abrazaderas hidráulicas. Estas vibraciones se transmiten desde el pilote al suelo adyacente, agitando el suelo y reduciendo significativamente la fricción superficial entre el suelo y el pilote.

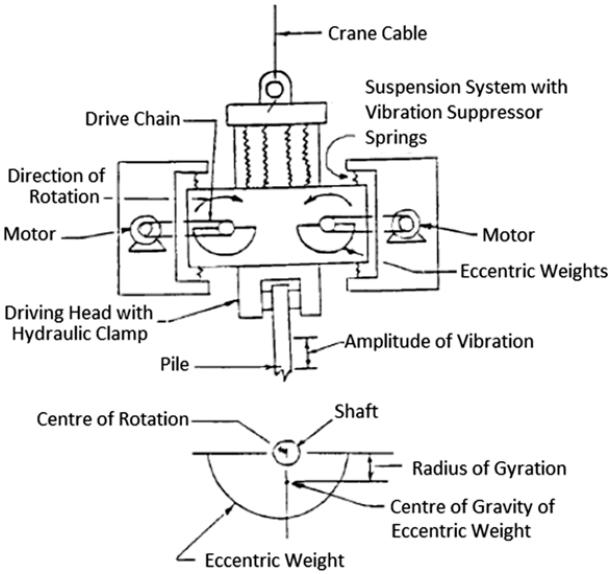


Figura 91: Martillo vibratorio

Cable de grúa, Cadena de transmisión, Dirección de rotación, Motor, Cabezal motriz con abrazadera hidráulica, Montón, Centro de rotación, Sistema de suspensión con resortes supresores de vibraciones, Pesos excéntricos, Amplitud de vibración, Eje Radio de giro, Centro de gravedad del peso excéntrico, Peso excéntrico

Los leads rara vez se utilizan con martillos vibratorios. El martillo se alimenta ya sea eléctricamente (generador eléctrico) o hidráulicamente (unidad de potencia hidráulica).

El rendimiento de un martillo vibratorio depende de su amplitud, frecuencia, momento excéntrico, peso vibratorio y peso no vibratorio.

El martillo vibratorio no debe utilizarse para hincar pilotes permanentes a menos que se especifique en el Contrato o lo apruebe el Ingeniero, ya que no hay forma de determinar la cantidad de energía suministrada al pilote. Si se aprueba, debe usarse en combinación con pruebas de carga del pilote y retacado con un martillo de impacto, asegurando que se alcanza una capacidad de carga aceptable.

Sin embargo, el martillo vibratorio puede utilizarse para instalar obras

provisionales (por ejemplo, tablestacas para apuntalamiento), así como para la extracción de pilotes.

6.4.3 Los martinetes pueden clasificarse en función del peso del ariete (o de la parte que golpea) como:

i) Ligero (para un peso de hasta 500 kg)
ii) Mediana (para pesos superiores a 500 kg y hasta 2500 kg)
iii) Pesado (para un peso superior a 2500 kg)

Cimentaciones con pilotes hincados (obras permanentes) – El peso o la potencia del martillo debe ser suficiente para garantizar una penetración de al menos 5 mm por golpe, a menos que se haya alcanzado la roca. Siempre es preferible emplear el martillo más pesado que sea posible y limitar la carrera, para no dañar el pilote. El peso mínimo del martillo será de 2500 kg. En el caso de pilotes prefabricados de hormigón, la masa del martillo no será inferior a 30 veces la masa de 300 mm de longitud del pilote.

6.4.4 El rendimiento del martillo viene indicado por su peso, energía nominal y golpes por minuto.

6.4.5 La elección del tipo y tamaño de martillo depende de una serie de factores como:

i) Tamaño, tipo y número de pilotes
ii) Características del suelo y topografía del emplazamiento
iii) Tipo de plataforma/grúa disponible
iv) Ubicación del proyecto - si la conducción se va a realizar por tierra o sobre el agua

6.4.6 El uso de un chorro de agua para ayudar en el hincado de pilotes en arena o grava fina puede acelerar la operación. El agua expulsada a través de una boquilla en el extremo inferior de una tubería de chorro afloja y mantiene en agitación el suelo alrededor del pilote (reduciendo así la resistencia debido a la fricción superficial) y elimina las partículas de suelo del agujero antes de la penetración de la tubería.

Cuando se utiliza el chorro de agua, al menos dos jets deben estar adheridos al pilote de manera simétrica.

Si se utilizan grandes cantidades de agua para el chorro, se debe hacer una provisión para recoger y drenar el agua cuando llegue a la superficie del suelo, para evitar que la estabilidad de la planta de pilotaje se vea comprometida por el ablandamiento del terreno.

6.5 Equipo de perforación de pilotes

6.5.3 La construcción de pilotes perforados requiere una selección

cuidadosa del equipo de perforación. La elección del equipo de cimentación adecuado dependerá de la estratigrafía del subsuelo, las condiciones del agua subterránea, el tipo de material de cimentación, el diámetro del pilote, la profundidad del pilote, etc.

6.5.4 Los siguientes métodos son generalmente empleados para avanzar en los agujeros de perforación:

i) **Plataformas rotativas o de percusión-rotativa que utilizan el método de Circulación Continua de Lodo (CCL)** – Este método (**Figura 92**) emplea lodo de perforación para extraer los cortes de perforación y estabilizar el orificio. Se utiliza una bomba de lodo de capacidad suficiente (dependiendo del diámetro y profundidad del orificio) para asegurar que el fluido de perforación (bentonita) tenga la viscosidad y velocidad adecuadas para mantener una circulación continua. De esta manera, los cortes de perforación se suspenden en el lodo y se llevan a la superficie mediante el flujo de bentonita. El nivel de suspensión de la bentonita se mantiene constante.

Se deberá proporcionar, como mínimo, un tramo de 2 metros de longitud en la parte superior del orificio con revestimiento para asegurar que el suelo suelto no caiga dentro del mismo.

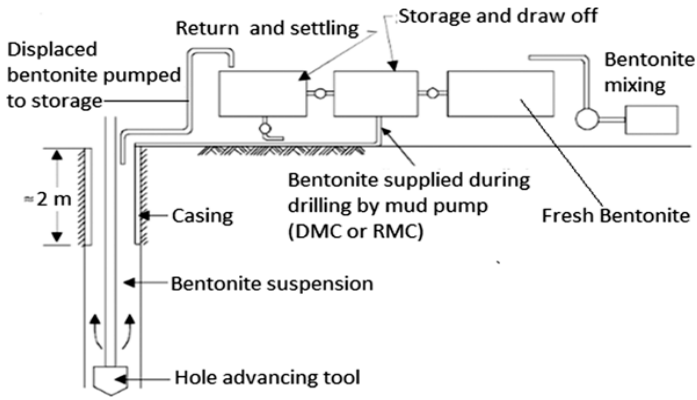


Figura 92: Mandrinado rotatorio o rotatorio-percusión utilizando

Los diversos métodos de Circulación Continua de Lodo (CML) se enumeran a continuación:

a) **Circulación directa de lodo (DMC)** – Aquí, la suspensión de bentonita se bombea hacia el fondo del agujero a través de la varilla de perforación y desborda en la parte superior del revestimiento.
Una versión mejorada del método DMC es el método de Circulación Directa Rápida de Lodo (R-DMC), donde se envía un tubo con aire comprimido al fondo del agujero. El aire mejora la mezcla de los detritos de la perforación con la lechada de bentonita para que incluso las partículas pesadas puedan ser expulsadas del agujero suspendidas en la bentonita.

b) **Circulación inversa de lodo (RMC)** – Aquí, la suspensión de bentonita se bombea directamente en la parte superior del agujero y se extrae desde la parte inferior del agujero a través de la varilla de perforación. Mientras que en el método DMC el tamaño del agujero está limitado por la capacidad de la bomba de lodo, en el método RMC incluso una bomba de capacidad media puede generar suficiente velocidad de bombeo para llevar los detritos hacia arriba y el diámetro interno de la varilla de perforación no necesita ser grande.
Una versión mejorada del método RMC es el método de Circulación Inversa de Lodo con Elevación de Aire (A-RMC), que utiliza aire comprimido para hacer circular el fluido de perforación y los detritos de la perforación hasta la superficie.
Tanto los métodos RMC como A-RMC son adecuados para agujeros de gran diámetro.
El principio de funcionamiento de las perforadoras rotativas y rotativas-percutoras se explica en la **Sección 6.9**.
Para las perforadoras rotativas y rotativas-percutoras que utilizan un medio de limpieza (por ejemplo, agua), que ayuda en el proceso de corte, pero no es adecuado para la estabilización del agujero, se debe proporcionar un revestimiento temporal para toda la longitud del agujero.

ii) Equipo de percusión con cable (método de

achicador y cincel) **–** El equipo consta de un aparejo de trípode y un cabrestante que se utilizan para levantar y dejar caer herramientas de corte pesadas hasta la base del agujero. La selección de la herramienta de corte depende de las condiciones del suelo. Se pueden agregar pesos de martillo pesados en la parte superior de la herramienta de corte para aumentar el impulso de la herramienta que cae.

En este método, el agujero se estabiliza mediante un revestimiento de acero en lugar de lodo de perforación. Un revestimiento temporal tiene un collar en su parte superior para soportar los golpes durante la conducción del revestimiento y un borde cortante en su parte inferior para facilitar la conducción. El revestimiento se conduce abierto con un martillo de pilotaje utilizando una barra de conducción de revestimiento. Los materiales dentro del revestimiento se eliminan progresivamente a medida que el equipo de percusión perfora el agujero. Después de terminar el hormigonado, se extrae el revestimiento utilizando una barra extractora de revestimiento.

iii) **Cabrestante (Figura 93)** – Un torno típico para pilotes consta de un tambor de torno accionado por un motor principal. Las capacidades estándar (fuerza de tracción de la cuerda del tambor) del tambor del torno deben ser de 1,5 toneladas, 2,5 toneladas y 5 toneladas; y el diámetro del tambor no debe ser inferior a 20 veces el diámetro del cable de alambre utilizado.

El motor principal suele ser un motor diésel del tipo refrigerado por aire o un motor eléctrico. También se debe proporcionar un engranaje reductor adecuado.

El sistema de transmisión debe ser por engranajes, cadena o correa (correa plana o correa en V) y debe contar con una cubierta protectora adecuada.

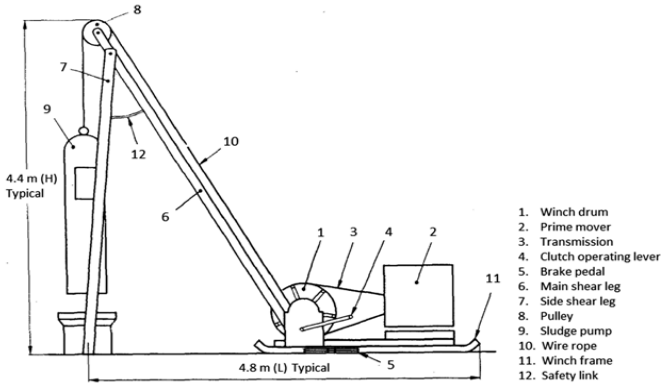


Figura 93: Torno y Derrick

1. Tambor del cabrestante, 2. Primer motor, 3. Transmisión, 4. Palanca de accionamiento del embrague, 5. Pedal de freno, 6. Pata de corte principal, 7. Pata de corte lateral, 8. Polea, 9. Bomba de lodos, 10. Cable de acero, 11. Marco del cabrestante 4,8 m (largo) típico, 12. Enlace de seguridad

El sistema de embrague consta de una rueda de embrague y placas de fricción o un cono de fricción accionado por una palanca.
El sistema de frenos se compone de una banda de freno conectada al pedal de freno o a la palanca de freno para su operación manual.
El bastidor del torno está montado en un camión, sobre orugas o sobre patines. Se debe proporcionar un estabilizador adecuado para transmitir la carga al suelo de manera uniforme.

iv) **Derrick (Figura 93)** – La capacidad de elevación de la torre de perforación debe ser al menos igual a la máxima tracción del tambor y preferiblemente un 25% más. La torre de perforación estándar consta de una pierna principal y dos laterales, y tiene una polea en la parte superior de la pierna principal. La polea debe tener un diámetro al menos 20 veces el diámetro del cable utilizado. Debe contar con una protección adecuada y lubricación apropiada. Se instala un eslabón de seguridad cerca de la parte superior de la torre para evitar cualquier aumento accidental en la distancia entre las piernas.

Herramientas de corte/mandrinado – Los siguientes tipos de herramientas de perforación/corte están disponibles para seleccionar:

a) **Bomba de lodos (Figura 94)** – La perforación suele avanzar utilizando una bomba de lodo (también llamada

concha). La bomba de lodo es un cuerpo de acero cilíndrico hueco con una punta cortante en la parte inferior y un gancho de elevación en la parte superior. Tiene una trampilla con bisagras inmediatamente sobre el borde cortante inferior y cuenta con una abertura (ventana) cerca de la parte superior para la eliminación del barro. Encima de esta ventana, se puede agregar plomo, acero o concreto para aumentar el peso de la bomba de lodo para una perforación efectiva.

El peso de la bomba de lodo variará según el diámetro, pero normalmente el peso mínimo debería ser de 7.5 kN.

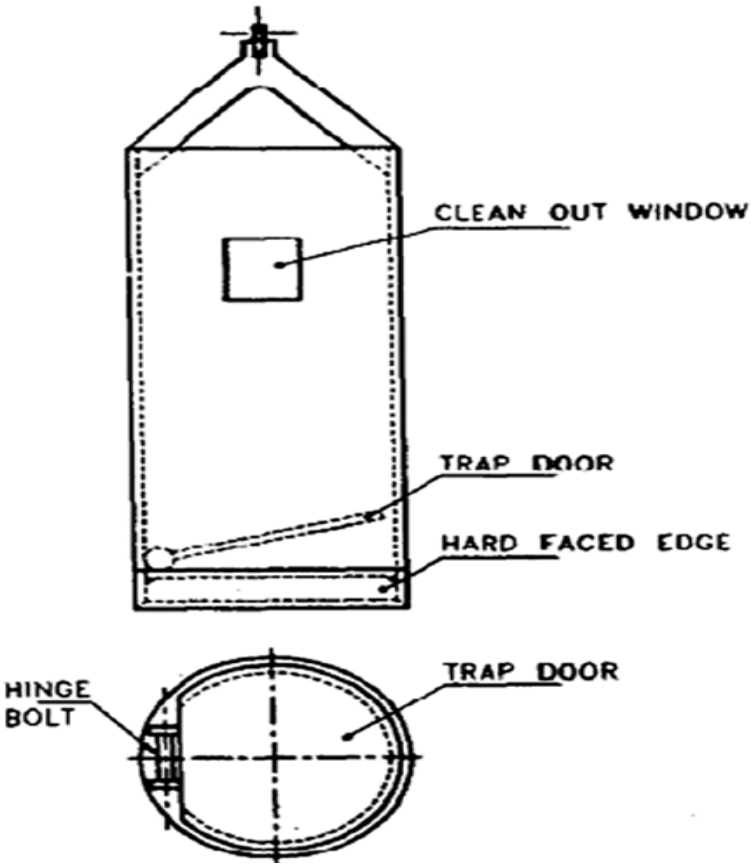


Figura 94: Bomba de lodos

Limpiar la ventana, trampilla, borde duro, perno de bisagra

b) **Achicador (Figure 95)** – El balde se utiliza para extraer agua o lodo del agujero de perforación. Está compuesto

por un cilindro de acero hueco con un gancho de elevación en la parte superior y una placa base truncada con perforaciones en la parte inferior. Hay un émbolo que pasa a través de un agujero central en la placa base y actúa como una válvula de tapón. Este émbolo tiene alrededor de 20 cm de longitud y placas de acero de unos 15 cm de diámetro soldadas en su parte superior e inferior. Esto cierra el agujero central en la placa base del émbolo y así retiene el material de lodo para su extracción.

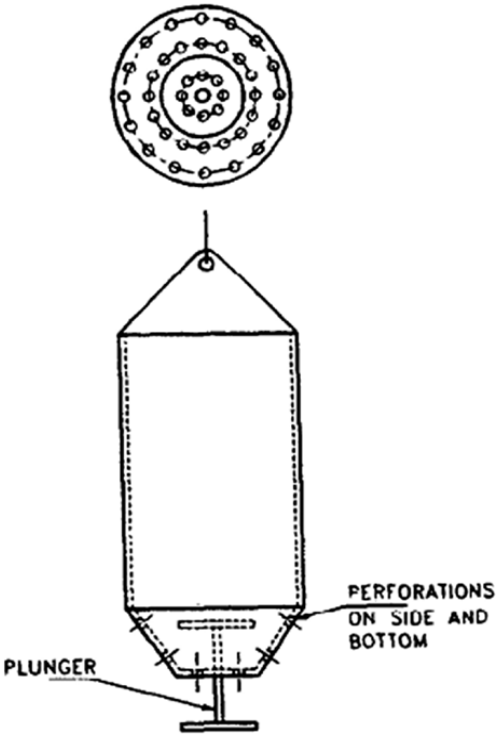


Figura 95: Vertedor
Émbolo, Perforaciones laterales y fondo

c) **Cincel (Figura 96)** – Los estratos duros durante la perforación se rompen con cinceles. El cincel está hecho de una barra redonda sólida con un borde duro en la parte inferior. Pesará al menos 7,5 kN para pilotos de 450 mm y 12,5 kN para pilotos de 500 y 600 mm.

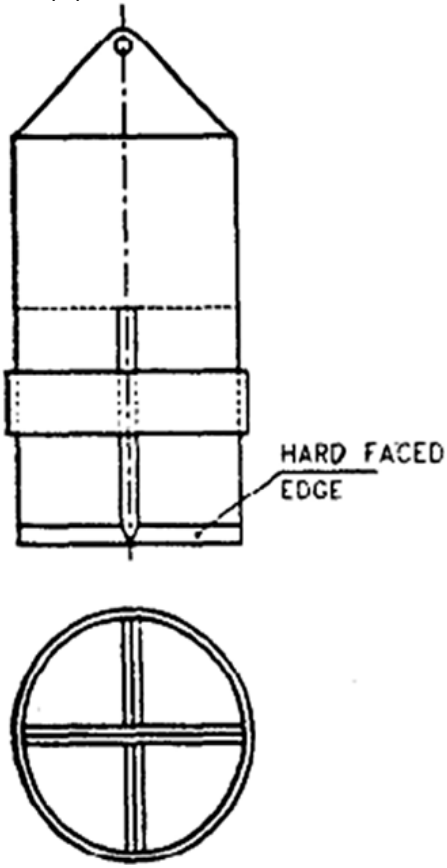


Figure 96: Cincel

Borde duro

6.5.5 Una vez completada la operación de perforación, se limpia el fondo de la perforación para eliminar restos de roca, tierra de pilotes, etc. utilizando una herramienta de limpieza especial (por ejemplo, una cuchara operada por cuerda o una cuchara operada hidráulicamente montada en Kelly u otro medio adecuado) y /o lavado con enjuague con bentonita. El lavado del pozo mediante lavado con bentonita se realizará en dos etapas: después de completar la perforación y antes del hormigonado después de la colocación de la jaula de refuerzo. El lavado de bentonita se realizará continuamente con lechada de bentonita fresca hasta que la consistencia de la lechada que entra y sale sea similar.

6.5.6 En esta Sección se ha considerado la carcasa temporal para el propósito de la construcción de pilotes aburridos. Sin embargo, el acero permanente Se debe proporcionar un revestimiento para toda la profundidad del pilote de la siguiente manera:

i) El suelo circundante es arcilla marina
ii) Hay suelo blando
iii) El suelo circundante tiene un contenido de sulfato igual o superior al 1%
iv) El agua circundante tiene un contenido de sulfato igual o superior a 2500 ppm
v) Se espera una filtración de aguas residuales

6.5.7 Las **Figuras 97** y **98** ilustran la construcción de un pilote perforado utilizando lodo de perforación y revestimiento temporal, respectivamente, para la estabilización del orificio.

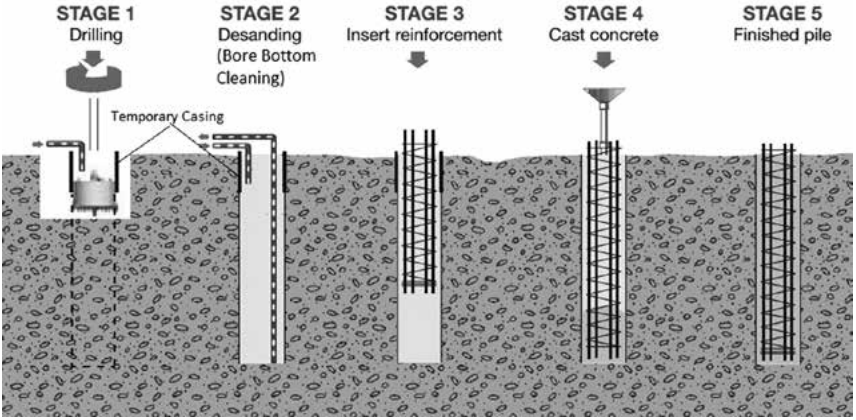


Figura 97: Construcción de pilotes perforados utilizando lodo de perforación para estabilización de la perforación

ETAPA 1 Perforación, ETAPA 2 Desarenado (limpieza del fondo del orificio), ETAPA 3 Insertar refuerzo, ETAPA 4 Hormigón colado, ETAPA 5 Pila terminada, Carcasa temporal

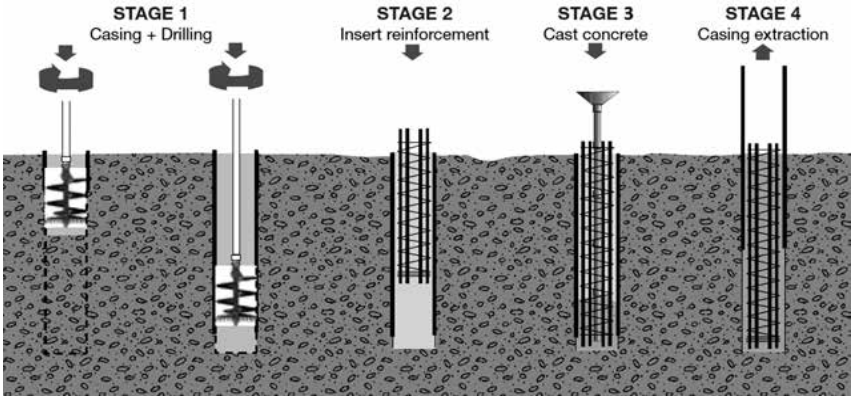


Figura 98: Construcción de pilotes perforados utilizando revestimiento temporal para estabilización del orificio

NIVEL 1 Carcasa + Perforación, ETAPA 2 Insertar refuerzo, ETAPA 3 Hormigón fundido, ETAPA 4 Extracción de tripa

6.6 Equipo de Pretensado

6.6.1 El equipo de pretensado (**Figura 99**) consta de lo siguiente:

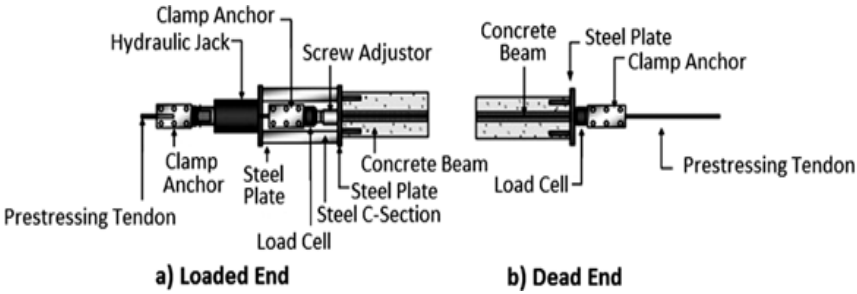


Figura 99: Equipos de pretensado

Anclaje de abrazadera, Gato hidráulico, Ajustador de tornillo, Viga de hormigón, Célula de carga, Viga de hormigón, Placa de acero, Anclaje de abrazadera, Tendón de pretensado, Anclaje de abrazadera, Sección C de acero, Célula de carga, a) Extremo cargado, b) Callejón sin salida

i) **Aparato de Tensado** – El acero pretensado puede ser tensionado mediante gatos hidráulicos o mecánicos, unidos a uno o ambos extremos del tendón. Cuando dos o más alambres/cables conforman un tendón, se utilizará un solo gato de tensado multipunto, capaz de tensar simultáneamente todos los alambres/cables del tendón.

El aparato de tensado deberá facilitar la medición y control de la aplicación de fuerza. Además, deberá ser soportado de forma independiente para evitar la generación de tensiones secundarias no deseadas. Los anclajes provistos para el agarre temporal de los tendones en el aparato de tensado deben estar asegurados y diseñados para no dañar el tendón. Dispositivos como dinamómetros o manómetros se adhieren al aparato de tensado para medir la fuerza aplicada. Se deben instalar dispositivos de seguridad adecuados para proteger los manómetros contra la liberación repentina de presión. También se deben proporcionar instalaciones para la medición lineal de la extensión del acero pretensado hasta el milímetro más cercano y para detectar cualquier desplazamiento de los dispositivos de agarre en el momento de la transferencia.

Los siguientes tipos de gatos de pretensado suelen estar disponibles:

a) **Gato de Monotendón** – Los gatos para tensionar

tendones individuales (monotendones) generalmente constan de dos cilindros, uno a cada lado del tendón, con un dispositivo en forma de cuña para sujetar y tirar del tendón.

b) **Gato de Multi-Tendón (Figura 100)** – Los gatos para tensar tendones de múltiples hilos como un grupo completo son generalmente del tipo de agujero central, es decir, los tendones pasan a través de un agujero en el medio y se fijan en la parte trasera del gato. Es importante que todos los hilos estén orientados correctamente hacia los orificios del gato. Se utiliza una 'placa en estrella' o una 'placa empotrada' para garantizar una alineación adecuada.

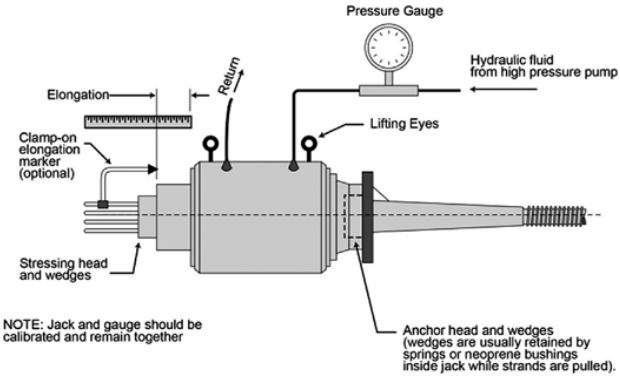


Figura 100: Gato tensor de múltiples hilos y orificio central

Manómetro, Fluido hidráulico de la bomba de alta presión, Alargamiento, Devolver, Marcador de alargamiento con abrazadera (opcional), Ojos de elevación, Cabezal tensor y cuñas, NOTA: El gato y el medidor deben calibrarse y permanecer juntos, Cabeza de anclaje y cuñas (las cuñas generalmente quedan retenidas mediante resortes o casquillos de neopreno dentro del gato mientras se tiran los hilos).

c) **Gato de Barra (Figura 101)** – Los gatos de barra tienen un agujero central a través del cual pasa el tendón de barra y se asegura con una tuerca en la parte trasera del gato. La mayoría de los gatos tienen una nariz ensanchada para acomodar un acoplador de barra. Muchos gatos de barra tienen una llave de trinquete manual o mecánica para girar y apretar la tuerca de anclaje contra la placa de anclaje a medida que la barra se alarga bajo carga. Un soporte y una llave de boca abierta pueden ser utilizados en lugar de la nariz y el

trinquete para los gatos de barra. Al apretar cuidadosamente la tuerca de anclaje, se puede minimizar la pérdida de asiento o la pérdida de anclaje.

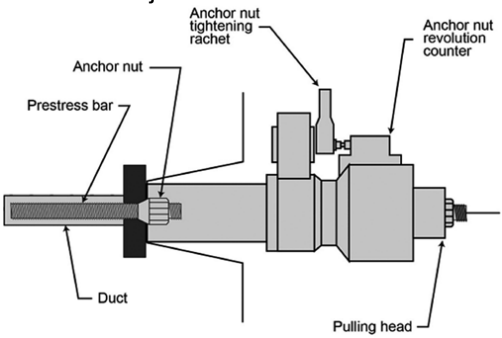


Figure 101: Gato de barra de pretensado

Trinquete de apriete de tuerca de anclaje, Tuerca de anclaje, Barra de pretensado, Cuentarrevoluciones de tuerca de anclaje, Conducto, Tirando de la cabeza

ii) **Dispositivo de Agarre Temporal** – Los tendones de pretensado pueden ser sujetos por cuñas, yugos, dobles conos u otros tipos de dispositivos de agarre aprobados. Los alambres de pretensado pueden ser sujetados individualmente o en grupos. Los dispositivos de agarre deben ser tal que, en una prueba de tracción, el alambre o alambres sujetos por ellos se rompan antes de que falle el propio agarre.

iii) **Dispositivo de Liberación** – El dispositivo de liberación debe ser tal que, durante el período entre el tensado y la liberación, la tensión en los elementos de pretensado se mantenga mediante completamente medios positivos, como anclajes externos. El dispositivo debe permitir que la transferencia de la pretensión se realice gradualmente para evitar grandes diferencias de tensión entre los cables en un tendón, excentricidades severas de la pretensión o la aplicación repentina de tensión al hormigón.

iv) **Dispositivo de anclaje** – El dispositivo de anclaje deberá cumplir con los siguientes requisitos:

a) Deberá ser lo suficientemente fuerte como para resistir en todos los aspectos una fuerza igual al menos a la resistencia a la rotura del tendón de pretensado que ancla.

b) Debe transferir de manera efectiva y distribuir, lo más uniformemente posible, la fuerza completa

desde el tendón de pretensado al hormigón sin inducir tensiones secundarias o locales indeseables.

c) Deberá ser seguro frente a cargas dinámicas y estáticas, así como frente a impactos.

d) Deberá tener disposiciones para la introducción de un medio protector adecuado, como lechada de cemento, para proteger el acero pretensado, a menos que se adopten medidas alternativas.

6.6.2 En caso de pretensado de tendones, el lecho o molde de tesado junto con los pilares deben ser lo suficientemente rígidos para soportar la reacción de la fuerza de pretensado sin distorsión. En el método de pretensado de línea larga, se deben distribuir suficientes placas localizadoras a lo largo de la base para garantizar que los alambres se mantengan en su posición adecuada durante el hormigonado. Los moldes deberán tener libertad para deslizarse en el sentido de su longitud y así permitir la transferencia de la fuerza de pretensado a todos los elementos de hormigón a lo largo de toda la línea. Se dejará suficiente espacio entre los extremos de los elementos de hormigón para permitir el acceso para cortar los torones/alambres después de la transferencia. Se utilizarán sujetadores o deflectores para sujetar o desviar firmemente los tendones en la posición requerida.

6.6.3 El corte y recorte de alambres o torones después de la operación de pretensado se debe realizar mediante cortadores mecánicos o con soplete adecuados. Cuando se utiliza un cortador de llama, se debe tener cuidado para garantizar que la llama no entre en contacto con otro acero tensionado. El oxicorte de alambre o torón se realizará al menos 75 mm más allá del punto donde el tendón será sujeto por el anclaje o los gatos. En miembros postensados, los extremos del acero pretensado que sobresalen de los anclajes se deben cortar después de que se haya fraguado la lechada.

6.7 Equipo de lechada

6.7.1 Se requiere lechada para rellenar los huecos o cavidades en la masa de roca o suelo con el fin de aumentar su resistencia y/o impermeabilidad.

La lechada también se aplica para rellenar los conductos en el caso de tendones postensados de elementos de hormigón pretensado de puentes. La lechada protege el acero postensado contra la corrosión y desarrolla la unión entre el acero pretensado y el hormigón estructural circundante.

6.7.2 Se requiere el siguiente equipo (**Figura 102**) para la inyección:

i) Mezclador y agitador de lechada

Es esencial que la lechada se mantenga en un estado homogéneo y de consistencia uniforme para que no haya separación del cemento durante todo el proceso de lechada.

La lechada se debe mezclar en una mezcladora que funcione a 1500 rpm o más. La alta velocidad de mezclado sirve para separar violentamente cada grano de cemento de su vecino, permitiendo así una humectación completa de cada grano. Esto resulta ventajoso al activar químicamente cada grano para hidratarlo completamente antes de llegar a su lugar de descanso final. Además, los granos individuales penetran en las grietas más finas más fácilmente que los flóculos.

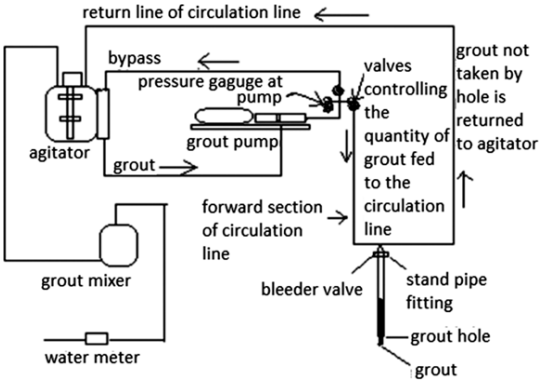


Figura 102: Equipo de inyección

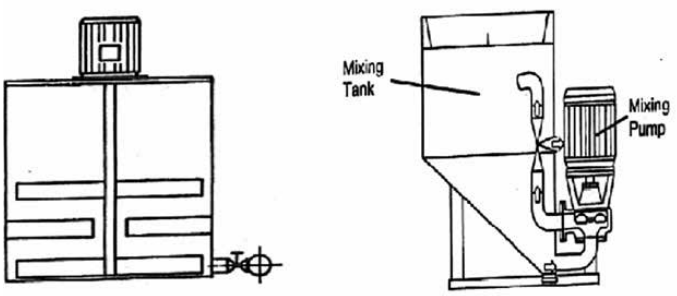
Línea de retorno de la línea de circulación, Derivación, Manómetro en la bomba, Agitador, Lechada, Bomba de lechada, Sección delantera de la línea de circulación la lechada que no ha sido recogida por el agujero se devuelve al agitador, Válvulas que controlan la cantidad de lechada alimentada a la línea de circulación, Mezclador de lechada, Válvula de purga, Instalación de tubería vertical, Medidor de agua, Agujero de lechada, Lechada

Los mezcladores (**Figura 103**) suelen ser de dos tipos: mezcladores de paletas y mezcladores coloidales. Los mezcladores de paletas son generalmente de forma cilíndrica con el eje horizontal o vertical y están equipados con un sistema de paletas motorizadas para mezclar mediante agitación. Los mezcladores verticales tipo barril han demostrado ser satisfactorios cuando se utilizan mezcladores pequeños requerido para su uso en

espacios de trabajo confinados o limitados. Este tipo de mezclador consta de un barril vertical que tiene un eje con paletas para mezclar, accionado por un motor montado en la parte superior del mezclador, encima del barril.

Figure 103: Mezclador de lechada

Tanque de mezclado, Bomba mezcladora, Mezclador de paletas, Mezclador coloidal



Paddle Mixer **Colloidal Mixer**

También se encuentran disponibles mezcladores con bomba centrífuga, también llamados mezcladores coloidales, que constan de un tanque de mezcla y una bomba mezcladora o de recirculación de alta velocidad (tipo centrífuga). La bomba hace circular agua desde el fondo hasta la parte superior del tanque mientras se agregan y rehumedecen los otros componentes de la mezcla. Luego, las partículas de cemento se mezclan individualmente mediante la acción de alto cizallamiento de la bomba, evitando así coagulaciones o grumos y asegurando la homogeneidad de la lechada.

El mezclador, ya sea de paletas o coloidal, suele ser un mezclador por lotes, lo que significa que se debe completar un ciclo de mezclado completo antes de poder utilizar la mezcla. Por lo tanto, es esencial un dispositivo de almacenamiento separado para la operación de inyección continua. El dispositivo de almacenamiento está equipado con un agitador para mantener la lechada en movimiento continuo antes de ser bombeada al pozo.

ii) Bomba de lechada

The La bomba debe ser del tipo de desplazamiento positivo y capaz de inyectar la lechada en operación continua y no a través de pulsos. La bomba de lechada deberá estar equipada con un manómetro para permitir que la presión de inyección alcance a ser controlado. También deberá tener un dispositivo de alivio para

desviar la lechada en caso de que se acumule presión. Debe diseñarse para minimizar la obstrucción de válvulas y puertos y permitir una velocidad de inyección flexible. No se recomienda el uso de bombas manuales para la inyección.

No se deben utilizar equipos de inyección operados con aire comprimido, ya que es probable que quede algo de aire atrapado en la lechada.

iii) Pantalla de lechada

El equipo de inyección debe contener una pantalla con un tamaño de malla adecuado. Antes de la introducción en la bomba de lechada, la lechada debe pasar a través de dicha pantalla. Esta pantalla debe ser de fácil acceso para su inspección y limpieza.

En caso de que el mezclador y la bomba se combinen en una unidad, el material seco debe tamizarse antes de mezclar.

iv) Disposición del colector de lechada y del sistema de lechada

Un colector o cabezal de lechada es una disposición en "T" de tubería y varios accesorios, como acoplamientos, niples, uniones, tes, válvulas y un manómetro, todos unidos al collar del orificio de lechada.

Las funciones del colector son:

a) Permitir la regulación del flujo de lechada hacia el orificio o conducto.
b) Mantenga la presión de lechada permitida deseada.
c) Permita que cualquier exceso de lechada se drene del sistema o se devuelva al tanque agitador para su recirculación.
d) Cierre el orificio cuando lave las líneas de suministro.

Los diseños de colectores varían y dependen del tipo de sistema de lechada.

La disposición del sistema de lechada puede ser de cualquiera de los dos tipos siguientes:

a) **Sistema de línea única** – Consta de una línea de suministro de lechada desde la bomba hasta el colector de lechada en el pozo. El manómetro debe ser monitoreado constantemente para que la presión sobre la lechada esté regulada mientras la lechada esté en progreso. Cualquier aumento o disminución deseado en la presión de inyección se obtiene cambiando la velocidad de la bomba de

inyección. Cuando la lechada en la línea de suministro se vuelve lenta, se debe cerrar la válvula del orificio de la lechada y abrir la válvula de purga para que la línea de suministro pueda lavarse o enjuagarse. También se debe comprobar la válvula del orificio de lechada para garantizar que no se produzca un falso rechazo. Las uniones de mangueras y tuberías deben estar apretadas.

b) **Sistema de circulación** – Requiere dos tuberías separadas, una para actuar como línea de suministro desde la bomba de lechada hasta el orificio de lechada y la otra para actuar como línea de retorno desde el orificio de lechada hasta el agitador/bomba. Al abrir las válvulas del orificio de suministro y de lechada, la lechada se fuerza a entrar en el orificio según sea necesario. La presión se mantiene ajustando la válvula de suministro o la válvula de retorno, o ambas, de modo que se mantenga un control completo de la presión en el orificio. Debe haber un manómetro en el extremo de entrega de la bomba. No se desperdicia lechada al lavar las líneas de lechada y se mantiene un estrecho control de la operación de lechada. Cuando se emplean bombas de accionamiento directo eléctrico o diésel, es necesario el uso de una línea de retorno.

v) Bomba de agua

Antes de comenzar con la inyección, debe haber disponible en el sitio una bomba de agua de alta presión de alimentación directa en caso de emergencia. Por ejemplo, en caso de cualquier problema en la inyección de los conductos (en el caso de tendones postensados de miembros de puentes de concreto pretensado), dicha bomba se conectará inmediatamente al conducto y toda la lechada se lavará mediante lavado con agua a alta presión. Por lo tanto, es necesario contar con un almacenamiento adecuado de agua potable limpia para el funcionamiento de la bomba de agua en tales emergencias.

6.8 Equipos de proyección de hormigón

6.8.1 El hormigón proyectado es mortero u hormigón transportado a través de una manguera y proyectado neumáticamente a alta velocidad sobre una superficie. La

fuerza del chorro que incide sobre la superficie compacta el material. Generalmente se utiliza una mezcla relativamente seca, por lo que el material es capaz de sostenerse por sí mismo sin combarse ni desprenderse, incluso para aplicaciones verticales y elevadas.

El hormigón proyectado puede ser de dos tipos:

i) **Concreto proyectado de mezcla seca (o gunita)** – Concreto proyectado transportado neumáticamente en el que la mayor parte del agua de mezclado se agrega en la boquilla.

ii) **Concreto proyectado de mezcla húmeda** – Concreto proyectado en el que todos los ingredientes, incluida el agua de mezclado, se mezclan en el equipo antes de introducirlos en la manguera de entrega. Puede ser transportado neumáticamente o movido por desplazamiento. En general, se utilizará hormigón proyectado de mezcla seca. La gunita comprenderá 100 partes en peso de cemento, 300 partes en peso de arena de cuarzo, 35 a 50 partes en peso de agua y 2 partes en peso de compuesto de fraguado rápido aprobado.

6.8.2 El equipo (Figura 104) para shotcrete de mezcla seca incluye:

i) Equipos de dosificación y mezcla
ii) Equipo de entrega o disparo
iii) Compresor de aire

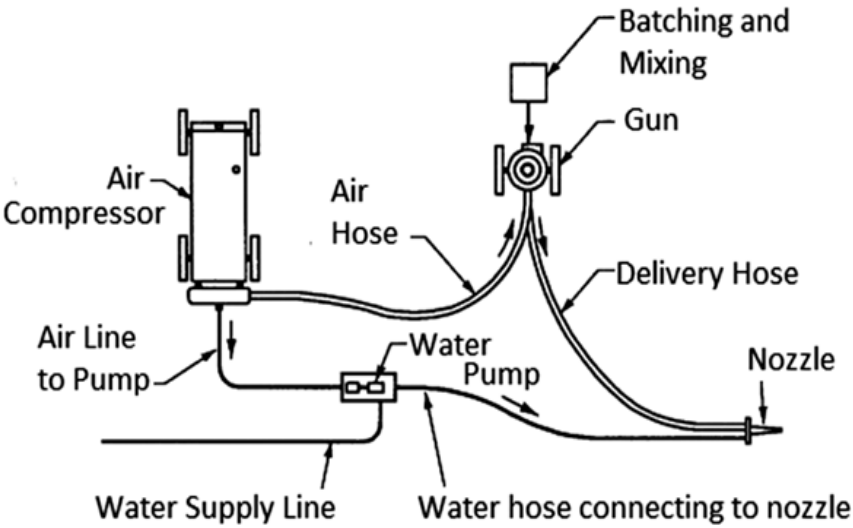


Figure 104: Equipos de proyección de hormigón

Procesamiento por lotes y mezcla, Pistola, Compresor de aire, Línea de aire a la bomba, Manguera de aire, Manguera de entrega, Bomba de agua, Boquilla, Línea de suministro de agua, Manguera de agua que se conecta a la boquilla

6.8.3 Equipo de Mezcla y Mezclado – Se prefiere el dosificado por masa y se recomienda encarecidamente. La arena puede dosificarse por volumen si se realizan controles periódicos para garantizar que las masas se mantengan dentro de la tolerancia requerida. El contenido de humedad de la arena debe ser tal que la mezcla de arena y cemento fluya a una velocidad uniforme, sin obstrucciones, a través de la manguera de entrega. El contenido de humedad óptimo dependerá del equipo de entrega utilizado, pero generalmente se encuentra en el rango del 3 al 6 %.

La arena se humedecerá o secará según sea necesario para llevar el contenido de humedad a un nivel satisfactorio. Se deben evitar las fluctuaciones en el contenido de humedad o gestionarlas adecuadamente.

El equipo de mezclado debe ser capaz de mezclar a fondo la arena y el cemento en cantidad suficiente para mantener la continuidad en el proceso de colocación. El tiempo de mezclado no será inferior a un minuto en un mezclador de tipo tambor; en caso de proponer otros tipos de mezcladores, se deberá presentar evidencia satisfactoria de que son capaces de mezclar a fondo. El mezclador deberá ser auto limpiante, capaz de descargar todo el material mezclado sin ningún traslape de un lote al siguiente. Deberá ser inspeccionado y limpiado a fondo al menos una vez al día (y más a menudo si es necesario) para evitar la acumulación de material dosificado. 6.8.4 Equipo de Gunitado – El equipo de entrega o Gunitado consta de lo siguiente:

6.8.4 Equipo de Gunitado – El equipo de entrega o Gunitado consta de lo siguiente:

i) Pistola de cemento
ii) Tanque de agua
iii) Mangueras (manguera de material, manguera de aire, manguera de agua)
iv) Boquilla

Pistola de Cemento (Figura 105) –Usualmente se utiliza una pistola de cemento de doble cámara. Consiste en dos vasijas circulares interconectadas fijadas una sobre la otra y con válvulas de cierre hermético operadas manualmente. Todo el equipo, al ser ensamblado, deberá ser hermético y montado sobre ruedas para ser móvil. La vasija superior es adecuada para la alimentación de la mezcla de arena y cemento (a través de una tolva y una válvula operada por palanca) y funciona como almacenamiento de tanque. La vasija inferior tiene una válvula operada por palanca en la parte

superior y un alimentador en la parte inferior que se rota mediante un accionamiento de tornillo sin fin y rueda dentada adjunta a la parte inferior de la vasija inferior. La vasija inferior está equipada con una manguera de material (o de entrega) de calidad para el chorro de arena. Cumpliendo con la norma IS:5894 para transportar el material de mezcla en suspensión mediante aire comprimido. En el extremo de descarga de la manguera de entrega, se proporciona una boquilla de metal de cañón. La boquilla está rellena en su interior con un colector perforado a través del cual se introduce agua a presión mediante un sistema de inyección operado manualmente y se mezcla íntimamente con la mezcla de cemento y arena. La boquilla deberá ser capaz de proporcionar un chorro de descarga cónico de apariencia uniforme en su totalidad.

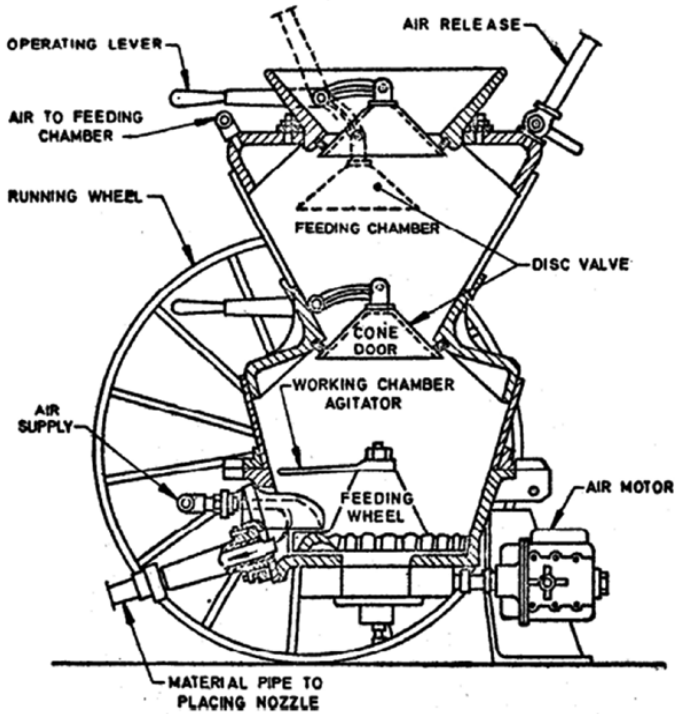


Figura 105: Pistola de Cemento para Gunitado

Palanca de Operación, Aire a la cámara de alimentación, Rueda de Carrera, Suministro de Aire, Tubo de Material a la boquilla de colocación, Motor de Aire, Válvula de Disco, Puerta de Cono, Agitador de la cámara de trabajo, Rueda de Alimentación, Cámara de Alimentación, Liberación de Aire

La vasija superior deberá estar provista de lo siguiente:

i) Manómetro para indicar la presión del aire en la vasija
ii) Válvula de seguridad
iii) Válvula de purga

iv) Válvula de limpieza
v) Válvula de entrada de aire
vi) Conexión de aire al motor de aire
vii) Separador de humedad y aceite

La vasija inferior estará provista de lo siguiente:

i) Una válvula de entrada para el aire.

ii) Una válvula de salida para la manguera de entrega que deberá tener un acople hermético.

iii) Un ventilador montado en la parte inferior del interior de la vasija que será accionado mediante un engranaje de reducción. La conexión entre el engranaje de reducción y el ventilador también deberá ser hermética para evitar la fuga de aire y arena.

iv) El ventilador y el engranaje de reducción serán operados mediante un motor de aire, de modo que la velocidad del ventilador sea de aproximadamente 10-15 revoluciones por minuto.

v) Orificio de acceso manual para la limpieza del interior de la pistola.

vi) Punto de entrada de aire o punto de salida para introducir el material en la manguera de entrega.

Tanque de Agua – Se deberán proporcionar dos tanques cilíndricos gemelos conectados en paralelo con un sistema para alimentar agua a la manguera de material de un tanque a la vez. Cada tanque de agua tendrá una tubería de entrada de agua en la parte superior y una boca de limpieza en la parte inferior, ambas herméticamente selladas con tapones.

Manguera – Se proporcionarán tres mangueras separadas: una para la entrega de material desde la pistola de cemento hasta la boquilla, otra para suministrar aire desde el compresor de aire a la pistola de cemento y una tercera manguera para suministrar agua a la boquilla.

6.8.5 Compresor de Aire – Un compresor de aire en funcionamiento adecuado y de capacidad suficiente es esencial para una operación satisfactoria de gunitado. El compresor estará equipado con un extractor de humedad para mantener un suministro de aire limpio y seco adecuado para mantener una velocidad suficiente de la boquilla para todas las partes del trabajo mientras se opera simultáneamente un tubo de soplado para eliminar los rebotes.

6.8.6 Para obtener más información sobre equipos de gunitado, consultar las normas IS:6433 e IS:9012.

6.9 Perforación

6.9.1 La perforación puede realizarse para explorar los tipos de materiales que se encontrarán en un proyecto (perforación exploratoria), o puede involucrar trabajos de producción como la perforación de agujeros para pilotes, voladuras, inyecciones de lechada o trabajos de estabilización con pernos en roca.

La selección del equipo depende de los siguientes factores:

i) Propósito del agujero
ii) Naturaleza del terreno
iii) Profundidad requerida del agujero
iv) Propiedades de la roca: dureza, textura, tenacidad, formación
v) Tamaño del proyecto (es decir, cantidad total lineal de perforación)
vi) Disponibilidad de agua (perforación en seco o en húmedo)
vii) Tamaño del núcleo, en caso de exploración (taladro diamantado para núcleos pequeños y taladro de percusión para núcleos grandes)

6.9.2 Los taladros utilizan tres métodos para fragmentar rocas:

i) Percusión
ii) Molienda rotativa
iii) Abrasión

Los taladros de percusión y rotativos son las principales herramientas de producción en trabajos de construcción. La abrasión se utiliza para aplicaciones de perforación especiales.

6.9.3 Taladro de Percusión – Aquí, la desintegración de la roca se facilita mediante impactos de martillo en la broca, así como un movimiento rotativo simultáneo aplicado a la broca. Este tipo de taladro puede variar en tamaño, desde unidades portátiles (por ejemplo, martillo neumático) hasta perforadoras y plataformas montadas sobre orugas.

Los martillos neumáticos (**Figura 106**) son taladros de percusión operados manualmente por aire, utilizados principalmente para perforaciones en dirección descendente. Consiste en un martillo, acero de perforación y broca. A medida que el aire comprimido fluye a través de un martillo, hace que un pistón recíproco produzca el efecto de martilleo. La energía de este pistón se transmite a la broca a través del acero de perforación. El aire fluye a través de un agujero en el acero de perforación y la broca para eliminar los recortes del agujero y enfriar la broca. El acero de perforación gira ligeramente después de cada golpe para que los bordes cortantes de la broca no golpeen en el mismo lugar cada vez.

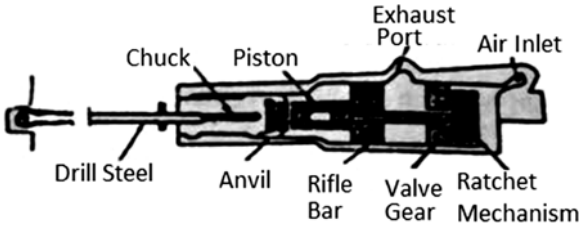


Figura 106: Martillo neumático

Mandril, Pistón, Puerto de Escape, Entrada de Aire, Barra de Perforación, Yunque, Barra de Rifle, Mecanismo de Válvula, Mecanismo de Trinquete

Un taladro Drifter es similar en funcionamiento al martillo neumático, pero es más grande y pesado, y está montado en un carro móvil (tractor) o un marco. Un taladro drifter puede perforar en dirección descendente, horizontal o ascendente y se utiliza ampliamente en la excavación de rocas y túneles. Se puede utilizar aire o agua para eliminar los recortes. El peso del drifter suele ser suficiente para proporcionar la presión de avance necesaria para la perforación descendente. Pero cuando se utiliza para la perforación horizontal o ascendente, un tornillo operado manualmente o un pistón neumático o hidráulico suministra la presión de avance.

Los taladros de percusión también pueden montarse en carros con rieles para proporcionar movilidad. Estos suelen ser impulsados hidráulicamente. Los motores hidráulicos trasladan la máquina y alimentan el martillo, la rotación y el avance del taladro. También hay un compresor de aire impulsado por motor hidráulico a bordo para soplar el agujero. Un taladro hidráulico normalmente puede lograr una mejor velocidad de penetración que un taladro impulsado por aire.

6.9.4 Taladro Rotativo (Figura 107) – En este tipo de perforación (perforación de presión), la roca se desintegra aplicando una presión descendente sobre el acero de perforación y la broca y al mismo tiempo girando continuamente la broca en el agujero. La presión de descenso y la rotación del taladro se facilitan mediante un motor hidráulico o eléctrico de velocidad variable. Para eliminar los recortes de roca y enfriar la broca, se fuerza constantemente aire comprimido hacia abajo a través del acero de perforación y a través de la broca durante este proceso. La presión de la broca y la cantidad de aire se controlan según sea necesario.
El método de Circulación Continua de Lodo (CCL) (**Sección 6.5.2**) también se puede utilizar para eliminar los recortes de perforación.

Figura 107: Mecanismo de Perforación Rotativa

6.9.5 Taladro Rotativo-Percusión (Figura 108) – Combina la acción de golpeo duro y recíproco del taladro de percusión con la acción de rotación bajo presión del taladro rotativo. Mientras que el taladro de percusión solo tiene una acción rotativa para reposicionar los bordes cortantes de la broca, la rotación de este taladro combinado, con la broca bajo presión constante, puede resultar en una perforación más rápida que la del taladro de percusión regular.

Figura 108: Taladro Rotativo-Percusión

Foto 1 Taladro de Martillo Superior

Implica golpear manualmente el extremo de la varilla del taladro con el martillo. A medida que el retroceso hace que la varilla salte hacia atrás, se gira para asegurar que el agujero sea redondo. La energía de impacto del pistón del taladro se transmite a la broca en forma de ondas de choque. Los recortes de perforación se eliminan del fondo del agujero mediante un lavado con aire o agua.

Foto 2 Taladro COPROD

Consiste en una varilla de taladro sin roscas apilada dentro de un tubo de taladro roscado. La varilla transmite la energía de impacto y la fuerza de avance a la broca, mientras que el tubo transmite la rotación. El taladro COPROD combina la alta velocidad y la tasa de penetración del taladro de martillo superior con las dimensiones grandes del agujero y la rectitud del mismo del taladro de martillo DTH.

Foto 3 Taladro de Martillo de Fondo (DTH)

El martillo está colocado en el agujero en contacto directo con la broca del taladro. El pistón del taladro golpea la broca, lo que resulta en una transmisión eficiente de la energía de impacto y pérdidas de potencia insignificantes con la profundidad del agujero. Este taladro es adecuado para perforar agujeros largos

Foto 4 Taladro de Circulación Reversa (RC)

El martillo se sitúa en el fondo del agujero en contacto directo con la broca del taladro, al igual que el taladro de martillo DTH. La diferencia en comparación con la perforación DTH es que los recortes de perforación se eliminan del fondo del agujero a través de un tubo central interno del martillo mediante un lavado con aire, agua o fluido de perforación. El fluido de perforación se circula continuamente fuera del agujero perforado, donde se eliminan o desechan los recortes de perforación, y luego se vuelve a circular en el agujero perforado para repetir el proceso.

La perforadora rotativa de percusión puede ser de cuatro tipos:

i) Método de martillo superior
ii) Método Down-The-Hole (DTH)
iii) Método COPROD
iv) Método de circulación inversa

La perforadora rotativa de percusión, mediante cualquiera de los métodos anteriores, se basa en la combinación de las siguientes cuatro acciones:

i) **Percusión –** el pistón dentro de la perforadora golpea el extremo posterior de la barra o broca misma y genera ondas de choque que se transmiten a la broca a través de la barra (en martillo superior) o directamente sobre ella (en martillo DTH).
ii) **Rotación** – el mecanismo rotativo hace girar la barra (en martillo superior) o el tubo (en COPROD) o el martillo DTH. Con este movimiento, la broca gira para que los impactos se produzcan en la roca en diferentes posiciones.
iii) **Carga de avance/empuje** – se necesita fuerza de avance para mantener la espiga en contacto con la perforadora y la broca en contacto con la roca. Esto asegura que la energía de impacto máxima se transfiera del pistón a la roca.
iv) **Lavado** – es necesario para eliminar los recortes de roca del agujero de perforación y enfriar la broca. El medio de lavado (aire, agua, neblina, espuma o fluido de perforación) se fuerza hacia la parte inferior del agujero de perforación a través del agujero de lavado de la barra y el agujero en la broca.

6.9.6 Perforadora de abrasión –La roca puede perforarse desgastando mecánicamente su superficie mediante el contacto por fricción con un material más duro. La perforadora de impacto y la perforadora de diamante son dos tipos comunes de perforadoras de abrasión y se utilizan principalmente para la perforación de exploración (perforación de núcleos).

6.9.6.1 En una perforadora de diamante (**Figura 109**), el equipo de perforación consta de una broca de diamante, un barril de núcleo (tipo de tubo único o tipo de tubo doble) (**Figura 110**), un tubo de accionamiento articulado y una cabeza rotativa para suministrar el par de accionamiento. El agua o lodo se bombea a través del tubo de accionamiento para eliminar los recortes. La presión sobre la broca se regula a través de una cabeza giratoria de avance de tornillo o hidráulica (o cabeza de perforación). Cuando la broca avanza a una profundidad igual a la longitud del barril de núcleo, se rompe el núcleo y se retira la perforadora del agujero.

Hay dos tipos de máquinas perforadoras de núcleo de diamante disponibles: convencional (con malacate de línea de alambre) e hidrostática.

Las perforadoras de diamante pueden perforar en cualquier dirección, desde vertical hacia abajo hasta vertical hacia arriba.

Para obtener más información sobre las perforadoras de diamante, consulta las normas IS:11710 (Parte 1), IS:11710 (Parte 2), IS:10208, IS:15481 (Parte 1) e IS:6926.

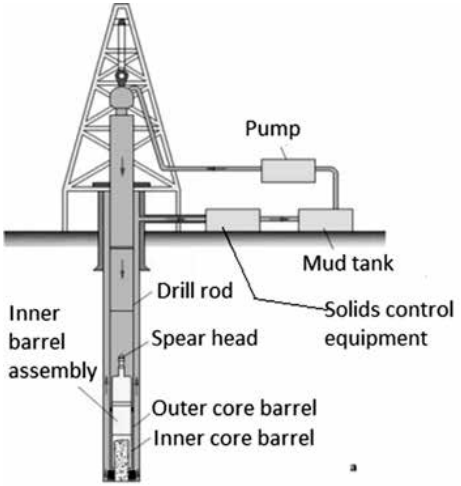


Figura 109: Perforadora de Diamante

Bomba, Tanque de lodo, conjunto de barril interno, Barra de perforación, cabeza de lanza, Barril exterior del núcleo, Barril interno del núcleo, Equipo de control de sólidos

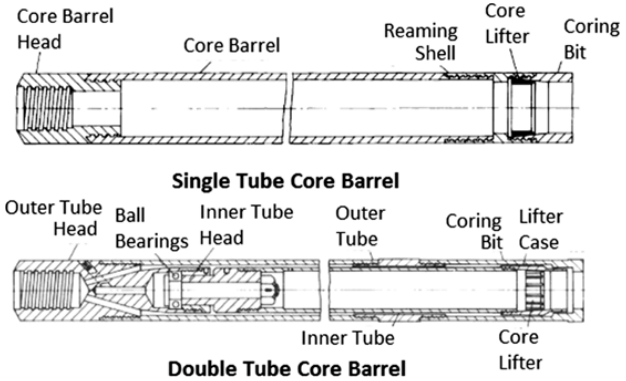


Figura 110: Barril de Núcleo para Perforadora de Diamante

Tubo de Núcleo de Tubo Simple: Cabeza del Tubo de Núcleo, Tubo de Núcleo, Cabezal de Perforación, Elevador de Núcleo, Broca de Perforación.

Tubo de Núcleo de Tubo Doble: Cabeza del Tubo Exterior, Rodamientos de Bolas, Cabeza del Tubo Interior, Tubo Exterior, Broca de Perforación, Estuche del Elevador, Tubo Interior, Elevador de Núcleo.

6.9.6.2 Perforadora de Impacto (o Núcleo Calyx) **(Figura 111**) depende del efecto abrasivo de la granalla de acero endurecido para

penetrar la roca. Está compuesta por una broca de impacto, barril de núcleo, barril de lodo, barra de perforación, bomba de agua y una unidad de rotación impulsada por energía. La acción de corte se logra mediante una broca ranurada de acero suave y mediante granallas de acero muy duro que se alimentan en el agujero de perforación con agua de lavado y llegan a la broca a través del espacio anular entre el núcleo y la pared del barril. Para ser efectiva, la granalla debe triturarse durante la perforación del núcleo. La granalla pre triturada (bajo el nombre comercial Calyxite) se utiliza a menudo en la perforación de rocas relativamente blandas. El agua suministrada a través de la barra de perforación fuerza los recortes de roca hacia arriba alrededor del exterior de la perforadora, donde se acumulan en un barril de lodo para ser retirados cuando se extrae toda la unidad del agujero. El flujo de agua debe regularse cuidadosamente para que elimine los recortes sin llevarse la granalla endurecida. Periódicamente, es necesario romper el núcleo y sacarlo del agujero para que la perforación pueda continuar.

La Perforadora de Impacto solo puede utilizarse para perforaciones hacia abajo y es un proceso lento. Es adecuada para la perforación de grandes diámetros.

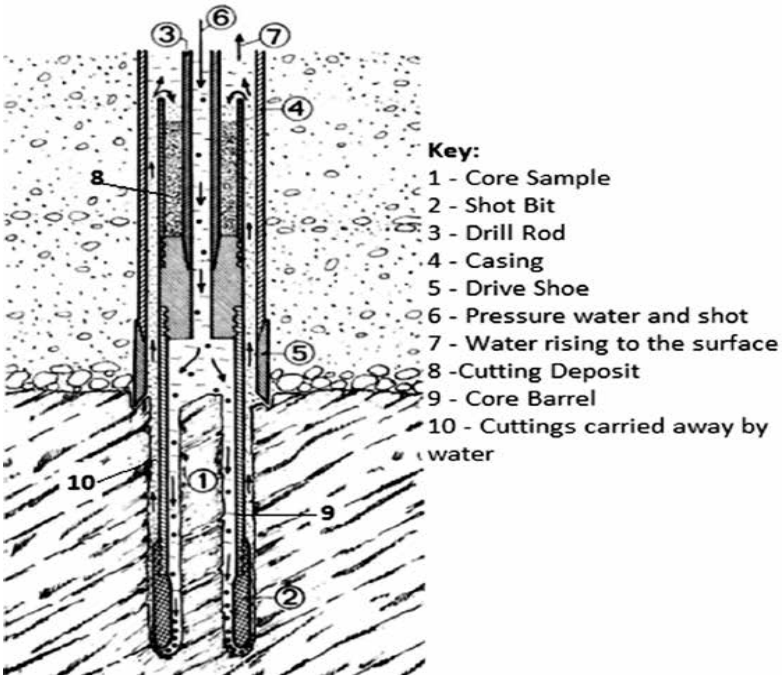


Figura 111: Perforadora de Impacto (o Núcleo Calyx)

Llave, Muestra de núcleo, Broca de impacto, Barra de perforación, Carcasa, Zapata de perforación, Agua a presión y granalla, Agua que asciende a la superficie, Depósito de corte, Barril de núcleo, Recortes llevados por el agua.

7. PLATAFORMA ELEVADORA MÓVIL DE TRABAJO (PEMT)

Es un equipo móvil que facilita la inspección "práctica" de los elementos de un puente, así como trabajos ligeros de mantenimiento. También se conoce como Plataforma Aérea.

Los tipos comunes de PEMTs se indican a continuación:

i) **Elevador de personas (Figura 112)** – Consiste en una plataforma o cubo, capaz de sostener a una o más personas, que está unida a un brazo telescópico montado en el carro del vehículo. El brazo puede elevarse, descender y girar en relación con el eje vertical. Los elevadores de personas están limitados para su uso en terrenos bastante nivelados.

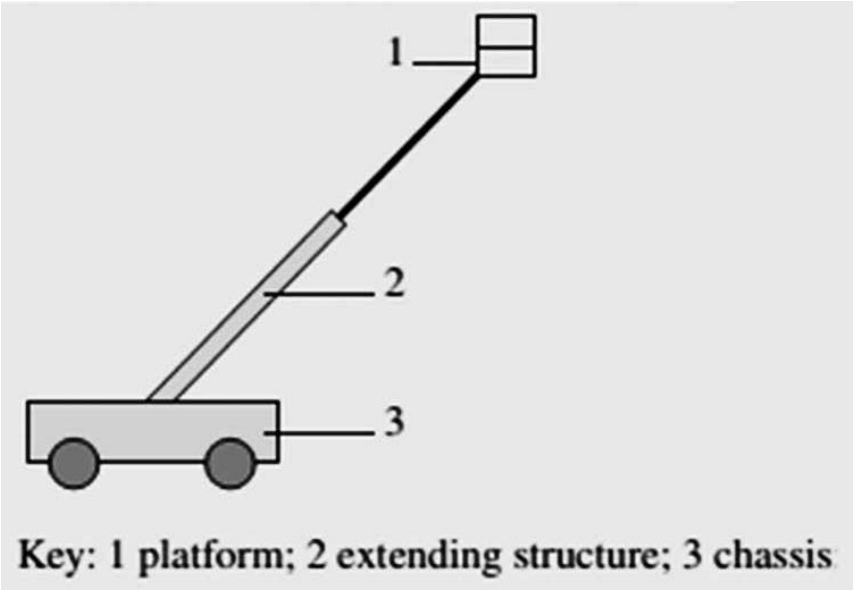


Figura 112: Elevador de personas

Llave, 1 plataforma; 2 estructura extensible; 3 chasis

ii) **Plataforma de Tijera (Figura 113) –**Está equipada con una estructura extensible tipo tijera para elevar o descender la plataforma. Está diseñado para su uso en terreno relativamente nivelado. Dado que su alcance vertical máximo es relativamente bajo, es adecuado para inspecciones de puentes con un espacio reducido entre el puente y la carretera que pasa por debajo.

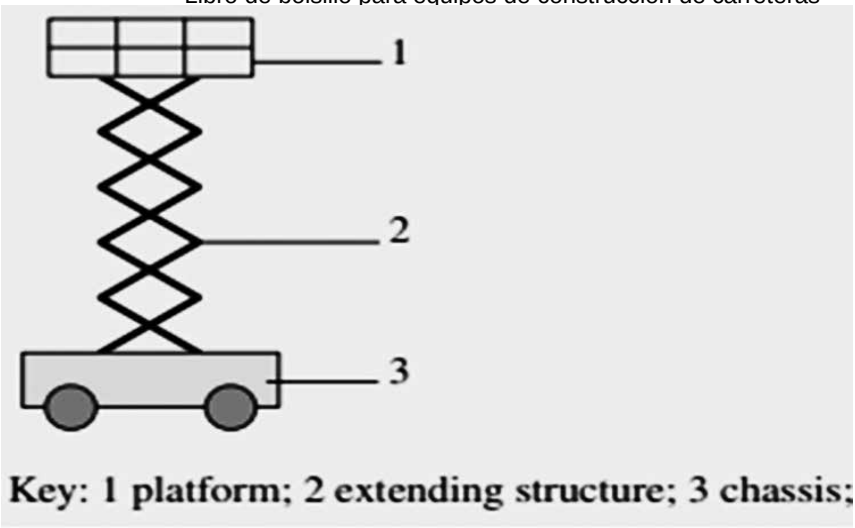


Figura 113: Plataforma de Tijera
Llave, 1 plataforma; 2 estructura extensible; 3 chasis

iii) **Plataforma Elevadora Móvil sobre Camión (Figura 114)** - Consta de lo siguiente:

a) Un Marco de Soporte, al cual se fijan patas extensibles (estabilizadores), un alimentador hidráulico y un mecanismo de giro. El marco de soporte se asegura al chasis de un camión. Las patas ayudan a mantener la estabilidad del vehículo.

b) Una Columna de Giro unida al marco de soporte a través de un cojinete superior. La columna es un marco de construcción soldada con mecanismo de transmisión y freno montados en ella. La etapa inferior del brazo y el cilindro están unidos a la columna mediante juntas articuladas.

c) Un Brazo de Dos Etapas con las dos etapas conectadas por una junta articulada y responsable de elevar y bajar la plataforma de trabajo.

d) Una Plataforma de Trabajo o Cesta para acomodar a una o más personas.

e) Un Sistema de Línea Recta para mantener la plataforma de trabajo en posición horizontal independientemente de los ángulos en los que se posicionan las etapas del brazo.

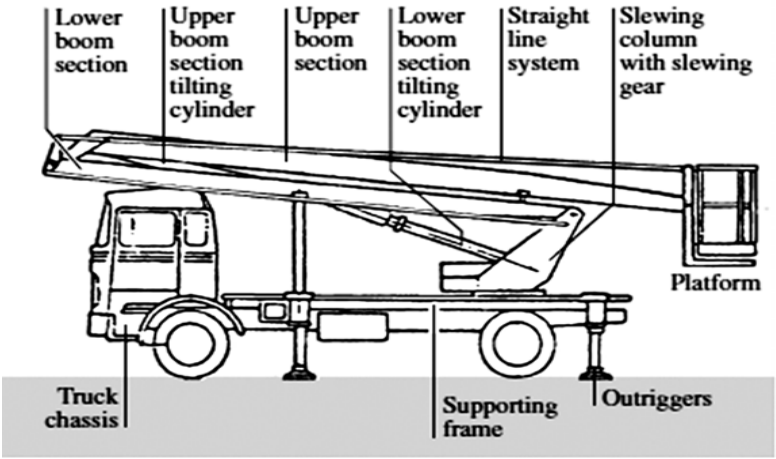


Figura 114: Plataforma Móvil Elevadora de Trabajo Montada en Camión

Llave, Muestra de núcleo, Broca de impacto, Barra de perforación, Carcasa, Zapata de perforación, Agua a presión y granalla, Agua que asciende a la superficie, Depósito de corte, Barril de núcleo, Recortes llevados por el agua.

El sistema de posicionamiento de la plataforma de trabajo consta de una bomba, filtros, distribuidores, válvulas, tuberías de acero, mangueras y cilindros hidráulicos. La bomba hidráulica se alimenta desde la caja de cambios del camión a través de un eje secundario. El aceite se suministra a los cilindros de trabajo a través de una junta rotativa. Las patas se controlan mediante distribuidores montados en el marco de soporte. Los cilindros del brazo y el giro pueden controlarse a través de un distribuidor montado cerca de la columna giratoria o en la plataforma de trabajo. El sistema está protegido contra la eventualidad de un giro simultáneo de las patas y los cilindros del brazo. Los cilindros del brazo y los de las patas están equipados con válvulas para evitar una falla de presión y el consiguiente desplazamiento no controlado de la varilla del pistón.

Las plataformas móviles elevadoras de trabajo montadas en camiones tienen las siguientes medidas de seguridad:

a) Interruptores de límite para evitar que la sección superior del brazo se eleve excesivamente y que la etapa inferior del brazo se baje mientras la etapa superior del brazo está elevada al máximo.

b) Un bloqueo del sistema hidráulico para evitar que el circuito de trabajo y las patas se alimenten simultáneamente.

c) Protección contra sobrecargas en forma de válvulas de desbordamiento, que resguardan los circuitos hidráulicos contra el aumento excesivo de presión.

d) Descenso de emergencia de la cuna mientras el accionamiento de la bomba está apagado.

Los parámetros operativos básicos que indican el rendimiento de una PEMP montada en camión son:

a) Capacidad de elevación

b) Elevación máxima

c) Radio máximo

d) Área de trabajo (especificando la posición permitida de la PEMP en el plano vertical) (**Figura 115**)

e) Ángulo de rotación del cuerpo

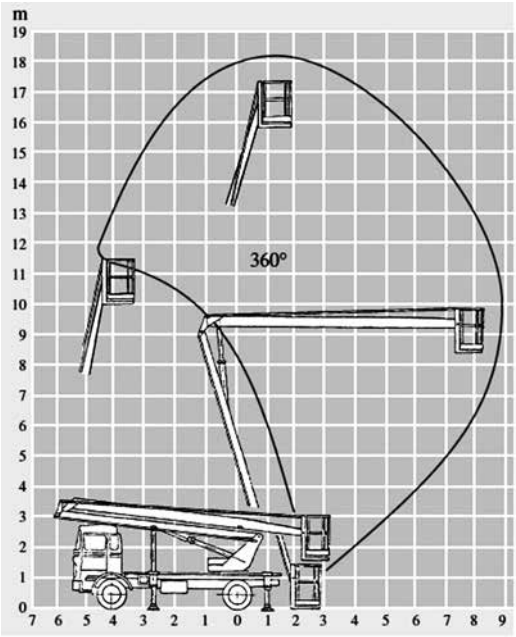


Figura 115: Área de trabajo típica de una PEMP montada en camión con una elevación de 18 m y un radio de 8.7 m.

8. UNIDAD MÓVIL DE INSPECCIÓN DE PUENTES (MBIU)

8.1 Unidad Móvil de Inspección de Puentes (MBIU) es un vehículo de inspección debajo de puentes con una jaula o plataforma diseñada para llegar debajo de la superestructura con el vehículo estacionado en la plataforma del puente. Puede utilizarse tanto para la

inspección de puentes como para trabajos ligeros de mantenimiento (como limpieza, pintura, etc.) en puentes.

8.2 La Unidad Móvil de Inspección de Puentes se clasifica ampliamente en dos categorías:

i) Tipo Jaula o Canastilla

ii) Tipo Plataforma

8.3 Unidad Móvil de Inspección de Puentes Tipo Jaula (MBIU)

8.3.1 La Unidad Móvil de Inspección de Puentes Tipo Jaula (MBIU) (**Figura 116**) consta de lo siguiente:

i) Un marco de soporte, al cual se fijan una plataforma giratoria y patas estabilizadoras. El marco de soporte se asegura al chasis de un camión. Las patas estabilizadoras ayudan a mantener la estabilidad del vehículo.

ii) Un brazo telescópico articulado de tres o cuatro etapas montado en la plataforma giratoria mediante un sistema hidráulico y responsable de elevar, descender y posicionar (rotación en un plano horizontal) la jaula bajo la estructura del puente.

iii) Una jaula fijada a un extremo del brazo telescópico articulado y capaz de alojar a una o más personas.

Figura 116: MBIU Tipo Jaula

8.3.2 Características Destacadas del MBIU Tipo Jaula:

i) Todos los movimientos son operados hidráulicamente y controlados a través del panel de control ubicado en la jaula y en el suelo (es decir, en la plataforma del puente).

ii) Se proporciona un sistema de intercomunicación entre la jaula, el panel de control en el suelo y la cabina.

iii) Se incorporan dispositivos de seguridad automáticos en la máquina para garantizar una operación segura.

8.4 Unidad Móvil de Inspección de Puentes Tipo Plataforma

8.4.1 La Unidad Móvil de Inspección de Puentes Tipo Plataforma (MBIU) (**Figuras 117 y 118**) consta de un marco de celosía montado sobre el camión. Está provista de una plataforma de trabajo, más pesada que la jaula, por lo que se debe seleccionar cuidadosamente el chasis del camión y el sistema de estabilización para mantener la presión sobre el suelo ejercida por las llantas/estabilizadores dentro de los límites permitidos durante la operación de traslado y estabilización de la máquina.

Figura 117: MBIU Tipo Plataforma

KEY:

1 - Chassis
2 - Basic Frame
3 - Stabilizer Axle
4 - Hydraulic Drive
5 - Control console chassis
6 - Rotation track connection chassis - rotation frame
7 - Rotation frame
8 - Counter weight
9 - Vertical frame cylinder
10 - Vertical frame
11 - Parallelogram cylinder
12 - Parallelogram
13 - Lifting cylinder
14 - Guide block
15 - Lifting tower upper part
16 - Rotation track connection
17 - Lifting tower lower part
18 - Lifting cylinder basic platform
19 - Overload device
20 - Basic platform
21 - Guide rollers top
22 - Guide rollers bottom
23 - Hydraulic drive for telescopic platform
24 - Telescopic platform
25 - Scaffold

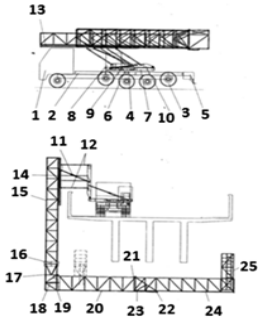


Figura 118: Componentes del MBIU Tipo Plataforma

1) Chasis; 2) Bastidor Básico; 3) Eje Estabilizador; 4) Accionamiento Hidráulico; 5) Consola de Control del Chasis; 6) Conexión de la Pista de Rotación Chasis) Bastidor de Rotación; 7) Bastidor de Rotación; 8) Contrapeso; 9) Cilindro del Bastidor Vertical; 10) Bastidor Vertical; 11) Cilindro del Paralelogramo; 12) Paralelogramo; 13) Cilindro de Elevación; 14) Bloque Guía; 15) Parte Superior de la Torre de Elevación; 16) Conexión de la Pista de Rotación; 17) Parte Inferior de la Torre de Elevación; 18) Plataforma Básica del Cilindro de Elevación; 19) Dispositivo de Sobrecarga; 20) Plataforma Básica; 21) Rodillos Guía Superiores; 22) Rodillos Guía Inferiores; 23) Accionamiento Hidráulico para Plataforma Telescópica; 24) Plataforma Telescópica; 25) Andamio.

8.4.2 Características Destacadas del MBIU Tipo Plataforma:

i) El soporte montado en el camión consta de un mecanismo de descenso/ascenso para el marco de celosía, para colocarlo en posición alrededor de la plataforma del puente.

ii) El despliegue y plegado de la unidad son automáticos con controles adecuados.

iii) Los siguientes mecanismos facilitan el movimiento de la plataforma de trabajo en una dirección o plano particular:

a) El mecanismo de lanzamiento junto con el sistema de soporte que está fijo en el camión,

b) Movimiento vertical y translatorio del marco vertical (o torre),

c) Un mecanismo que facilita el giro en un plano horizontal del brazo inferior (plataforma de trabajo) para una mayor cobertura del área de inspección debajo del puente,

d) La longitud variable de la plataforma de trabajo mediante extensión o retracción.

iv) La plataforma de trabajo es la plataforma horizontal en la que el equipo de inspección se coloca para llevar a cabo la

inspección. Se debe tener en cuenta la carga útil que comprende el peso de las personas que inspeccionan el puente y el peso del equipo al diseñar la unidad.

v) La plataforma de trabajo tiene un arreglo adecuado para la provisión de agua, aire comprimido, conexiones eléctricas desde una fuente externa para facilitar el uso de herramientas y equipos de reparación para reparaciones menores del puente.

vi) Se utilizan los siguientes tipos de estabilizadores:

a) Estabilizadores con neumáticos

b) Estabilizadores con ruedas de acero sólido unidas con goma

c) Estabilizadores equipados con cadena de oruga

vii) Se incorporan varios dispositivos de seguridad en la máquina para garantizar una operación segura:

a) Dispositivo de Sobrecarga: Se proporciona en la plataforma de trabajo. En caso de sobrecarga en la plataforma de trabajo, la bocina sonará como alarma y la máquina cambiará a la posición de corte de emergencia.

b) Botones de Emergencia: Se encuentran en la cabina del operador, el panel de control principal, el panel de control de la plataforma y el panel de lanzamiento. En caso de emergencia, corta instantáneamente el circuito eléctrico y detiene la operación adicional de la unidad.

c) Bomba de Emergencia: Se utiliza para recuperar la unidad en caso de emergencia debido a falla del motor, toma de fuerza o interrupción en el sistema de control/bomba hidráulica.

d) Sistema de Corte de Emergencia: Están instalados en la plataforma de trabajo, la torre de elevación y el panel de control principal, y se utilizan para mantener una carga apropiada en la estructura.

e) Interruptores de límite: Se proporcionan en la plataforma de trabajo para extender o retraer su longitud de trabajo.

f) Accionamientos eléctricos controlados por PLC (Controlador Lógico Programable)

g) Unidad de accionamiento eléctrico especial para maniobrar el vehículo hacia adelante/atrás para la inspección continua entre pilares.

h) Sistema de suministro de energía dedicado para alimentar el MBIU para la inspección en áreas remotas.

i) Sensores de carga del chasis en línea para detectar la distribución de carga estructural durante el plegado/desplegado de la estructura e inspección.

j) Monitor en línea de la velocidad del viento.

k) Unidades de control gemelas para el plegado/desplegado de la estructura del MBIU.

l) Sistema integrado de asistente de estacionamiento para estacionarse a lo largo del puente.

8.5 Parámetros operativos básicos que afectan el rendimiento de un MBIU son:

i) Carga Máxima en la jaula/plataforma (incluyendo equipo)

ii) Profundidad Máxima de Descenso

iii) Alcance Máximo Horizontal (debajo de la construcción)

iv) Ángulo de rotación de la jaula/plataforma

v) Tamaño (Dimensiones) de la jaula/plataforma

PARTE C: EQUIPOS PARA OBRAS DE TÚNELES

9. EQUIPO ESENCIAL PARA OBRAS DE TÚNELES

Tabla 32 enumera el equipo esencial necesario para diversas actividades de túneles.

Tabla 32: Equipamiento por Actividad para Trabajos de Túneles

Sl. No.	Actividad/ Operación	Equipamiento	Observaciones
1.	Excavación (incluyendo desprendimiento de escamas)	i) Máquina Perforadora de Túneles o Equipo de Perforación + Taladro Neumático/Hidráulico o Escudo de Túnel o Máquina Rozadora o Excavadora Hidráulica/Retroexcavadora + Martillo Hidráulico/Rasgador o Herramientas Manuales de Excavación o Divisor de Rocas	
		ii) Fuente de Luz	
		iii) Compresor de Aire	
		iv) Bomba de Desagüe	Consultar Sl. No. 3 de esta Tabla.
2.	Eliminación de Escombros	i) Equipo de Transporte de Escombros sobre Rieles (Vagones tirados por locomotoras o cabrestantes de transporte)	Limitada flexibilidad en movimiento debido al sistema de rieles fijos; cabrestante de transporte para pendientes pronunciadas y locomotoras para pendientes más niveladas.

Sl. No.	Actividad/ Operación	Equipamiento	Observaciones
		Equipo de Transporte de Escombros sobre Neumáticos (Volquete o Camión Volquete) O Cinta Transportadora	Los volquetes son adecuados para túneles de gran diámetro.
		ii) Cargadora Frontal o Retroexcavadora o Pala Basculante Superior o Pala de Brazo Corto	Equipo de Carga
		iii) Fuente de Luz	
		iv) Compresor de Aire	
		v) Bomba de Desagüe	Consultar Sl. No. 3 de esta Tabla.
3.	Desagüe	i) Bomba Centrífuga con Impulsor Abierto (Tipo de Succión o Tipo Sumergible) o Bomba Neumática para Lodos	Bomba tipo no obstruible que se utilizará ya que el agua bombeada está fuertemente cargada con partículas de polvo.
4.	Des fumigación/ Ventilación (Para el personal de trabajo)	i) Ventilador + Eliminador de Polvo (Húmedo o Seco) + Conducto de Ventilación + Pozo de Ventilación	
5.	Revestimiento de Acero	i) Equipo de Soldadura	
		ii) Vía Ferroviaria + Cabrestante	Para la instalación del revestimiento de acero.
6.	Revestimiento de Concreto	i) Planta de Dosificación y Mezcla de Concreto o Mezcladora de Concreto	
		ii) Generador Eléctrico	
		iii) Camión Mezclador/Camión Agitador	Para transporte al sitio.

Sl. No.	Actividad/ Operación	Equipamiento	Observaciones
		iv) Bomba de Concreto o Colocador Neumático	Para la colocac de concreto.
7.	Proyección de Hormigón/ Gunitado	i) Compresor de Aire + Equipo de Proyección de Hormigón	
8.	Lechada	i) Equipo de Perforación (Perforación de Percusión Perforación Rotativa)	Perforación de percusión para lechada de llenado y consolidación; perforación rotativa para lechada de consolidación.
		ii) Equipo de Inyección de Lechada	
9.	Aplicación de Elevación	i) Grúa o Montacargas o Maquinaria de Elevación o Cabrestante o Gato de Elevación o Garfio o Derrick con Asta de Gin	

10. MÉTODOS DE TÚNELES

Los métodos comunes de excavación de túneles se enumeran a continuación:

i) Método de Corte y Cubrimiento

ii) Método de Túnel con Escudo

iii) Método de Túnel Perforado

iv) Método de Jacking de Túneles

v) Método de Tubo Inmerso

vi) Método de Perforación y Voladura

vii) Excavación Convencional con Rozadora o Herramientas Manuales

viii) Técnicas de División de Rocas

ix) Método de Excavación Secuencial (MES)

10.1 Método de Corte y Cobertura.

La construcción de túneles mediante el método de corte y cubrimiento generalmente implica excavar una zanja, construir la estructura del túnel dentro de la zanja y cubrirla con un material de relleno diseñado. Dado que estos túneles se excavan desde la superficie del suelo, son más económicos cuando se encuentran a poca profundidad. Este método generalmente no es factible para atravesar arroyos, montañas o corredores de transporte importantes. Excavar desde la superficie también presenta desafíos cuando hay servicios públicos enterrados.
Existen dos formas básicas de túneles de corte y cubrimiento:

i) **Método de Abajo hacia Arriba** – Se excava una zanja con la ayuda de un soporte en forma de muros diafragma, tablestacas o pilotes Inter seccionados, etc., y el túnel se construye dentro de ella. Una vez que el túnel está completo, la zanja se rellena con material compacto y la superficie se restablece.

   El túnel puede ser de concreta in situ, concreto prefabricado, arcos prefabricados, arcos de acero corrugado, etc.

ii) **Método de Arriba hacia Abajo** – Se excava una zanja con la ayuda de un soporte en forma de muros diafragma, tablestacas o pilotes Inter seccionados, etc. Se realiza una excavación superficial para permitir la construcción del techo del túnel utilizando vigas prefabricadas o concreta in situ. Luego, se restablece la superficie, excepto las aberturas de acceso. Esto permite el restablecimiento temprano de carreteras, servicios y otras características de servicio. La maquinaria de excavación se baja luego a las aberturas de acceso, y la excavación principal se realiza bajo el techo permanente del túnel, seguido por la construcción de la losa base.

10.2 Método de Túnel con Escudo

El método de túnel con escudo se utiliza en caso de excavación a través de terreno que es blando, pantanoso o de otra manera inestable, y por lo tanto necesita ser controlado o de alguna manera apoyado durante el proceso de excavación. Un escudo de túnel actúa como una estructura de soporte temporal y está en su lugar durante el tiempo generalmente corto desde que se excava la sección del túnel hasta que puede ser revestida con una estructura de soporte permanente.
La parte delantera del escudo tiene la forma de un filo cortante y está equipada con instalaciones de excavación, mientras que la parte trasera tiene instalaciones para la eliminación de escombros de la excavación y para la instalación de soportes dentro de la cola del

escudo. Con este método, un escudo avanza un ciclo a la vez, generalmente retirando el material excavado y colocando el soporte del terreno de manera simultánea al frente. Este proceso se repite tantas veces como sea necesario para completar el túnel. A medida que progresa la excavación en la cara, el escudo se empuja hacia adelante con la ayuda de gatos hidráulicos que toman impulso de los soportes en la parte trasera del escudo. Durante el movimiento hacia adelante del escudo, la parte trasera se desliza pasando los soportes ya colocados dentro de la cola, transfiriendo la carga del perímetro excavado desde el escudo a los soportes. Los escudos cerrados se utilizan cuando se necesita controlar el agua subterránea.

Aplicaciones especializadas del túnel accionado por escudo incluyen el uso de máquinas perforadoras de túneles y túneles empujados (jacked tunnels).

10.3 Método del Túnel Perforado.

Un Tunnel Boring Machine (TBM), o máquina perforadora de túneles, es un escudo con brocas montadas en una cabeza de corte rotativa que excava una apertura circular. La selección de herramientas y la configuración de la máquina dependen principalmente de las características geotécnicas del terreno, el nivel freático, la abrasividad de la roca y la máxima sedimentación permitida en la superficie. Dado que las condiciones del terreno varían (a veces de manera drástica) a lo largo de la alineación del túnel, la selección final de la máquina debe ser una elección óptima teniendo en cuenta los parámetros clave de rendimiento, especialmente la velocidad de excavación.

Algunas TBMs permiten intervenciones limitadas en la cara de corte para reemplazar las herramientas de corte. Estas intervenciones pueden involucrar aire comprimido, denominadas intervenciones hiperbáricas, para estabilizar el terreno en la cara excavada. En general, la mayoría de las intervenciones están planificadas para llevarse a cabo en ubicaciones geológicamente favorables a lo largo de la alineación para minimizar los riesgos para el personal y gestionar los costos de producción. Algunas de las TBMs modernas permiten que las herramientas de corte se reemplacen desde dentro de la seguridad de la máquina; sin embargo, esto tiene sus compensaciones ya que las herramientas de corte son muy difíciles de manejar en estos espacios reducidos. Se considera que las TBMs son más rentables en túneles más largos, donde la economía de escala permite recuperar el costo de la máquina.

Las TBMs pueden ser dirigidas en dirección vertical y horizontal a lo largo de curvas suaves. Tienen la ventaja de no perturbar las capas circundantes, lo que las hace adecuadas para su uso en áreas urbanizadas.

Las Tunnel Boring Machines se tratan en la **Sección 11.**

10.4 Método de Jacking de Túneles

El Método de Empuje de Túneles, también conocido como Túneles de Caja Empujada, se considera un método relativamente no intrusivo para construir túneles superficiales, grandes alcantarillas sobredimensionadas o pasos inferiores. Implica el desplazamiento de grandes secciones de caja de concreto a través del suelo, cruzando típicamente debajo de estructuras existentes, infraestructuras o rutas de transporte donde la consolidación del suelo es de principal preocupación, utilizando equipo de empuje especializado y gatos hidráulicos.

El suelo alrededor de la abertura del túnel se estabiliza mediante técnicas adecuadas (por ejemplo, inyección de lechada). Gatos hidráulicos grandes empujan las secciones prefabricadas del túnel desde un pozo de lanzamiento mientras simultáneamente se excava el suelo en la cara. Al final del ciclo, los gatos se retraen; se agrega un nuevo segmento en el pozo de lanzamiento; y la cadena de segmentos se empuja gradualmente hacia su lugar para avanzar otro ciclo. Este proceso se repite tantas veces como sea necesario para completar el túnel desde el pozo de lanzamiento hasta el pozo receptor.

La principal ventaja del Método de Empuje de Túneles es que permite que la infraestructura sobre la estructura propuesta del túnel permanezca operativa y activa durante los trabajos de construcción.

10.5 Método de tubo sumergido

Un túnel de tubo sumergido es un túnel construido directamente debajo de un curso de agua. Estos túneles de tubo sumergido se utilizan a menudo en conjunto con otras formas de túneles en sus extremos, como un túnel excavado o un túnel perforado, que generalmente es necesario para continuar el túnel desde cerca del borde del agua hasta la entrada (portal) en la superficie terrestre.

La construcción de un túnel de tubo sumergido implica tres etapas distintas:

i) **Dragado de zanja** – Se draga una zanja en el fondo del curso de agua mediante la remoción de material submarino con una draga, sin causar daño significativo al entorno marino. El material dragado se transporta en una barcaza para su eliminación en un lugar adecuado. La base del lecho, preparada con una barcaza de nivelación, acondiciona la alineación del túnel bajo la superficie del agua, donde descansarán los elementos/segmentos del túnel.

ii) **Construcción sw Elementos de Túnel** – Los elementos huecos de sección rectangular, fabricados en acero o concreto y utilizados para la estructura real del túnel, se construyen en tierra firme, generalmente en un dique seco, cuenca de colada, astillero de fabricación o plataforma

similar a un barco o fábrica. Cada segmento se diseña individualmente para encajar en la alineación del túnel, que suele tener una pendiente desde cada extremo hacia el centro, donde se recoge el drenaje.

iii) **Instalación de Túnel** – Los elementos prefabricados del túnel son transportados al sitio del túnel por barcaza. Con la ayuda de un sistema de cable y grúa/torno, el elemento del túnel se remolca desde el área de almacenamiento hasta el lugar exacto en el que debe estar en la zanja del túnel. El elemento del túnel es sostenido y guiado por dos pontones de inmersión avanzados. Su posición se controla mediante cables de amarre conectados a anclajes en el lecho marino o fluvial. La inmersión real comienza al llenar los tanques de lastre del elemento del túnel con agua. Esto hace que el elemento sea lo suficientemente pesado como para hundirse hasta el fondo bajo su propio peso. Utilizando cables, cabrestantes y tanques de lastre, el elemento se guía hasta el fondo bajo control total. Para guiar los elementos del túnel hasta su posición exacta en la zanja, se utiliza tecnología adecuada (GPS, ecosondas). Cada elemento se coloca en su lugar y se alinea junto al elemento ya colocado bajo el agua. Se bombea agua fuera del espacio entre las troneras. La presión del agua en el extremo libre del nuevo elemento alineado con una sección existente comprime un sello de goma entre los dos elementos, haciendo que las membranas de sellado se bloqueen entre sí. El uso de sellos de goma robustos es altamente efectivo para garantizar un alto grado de estanqueidad dentro del túnel. Finalmente, se coloca un relleno diseñado y resistente a la erosión sobre la zanja para enterrar permanentemente el túnel y protegerlo contra buques, socavamiento y para resistir la flotabilidad positiva.

10.6 Método de Perforación y Voladura

El Método de Perforación y Voladura Controlada es una técnica convencional de excavación que puede proporcionar una solución rentable, especialmente para aplicaciones más cortas en la perforación de túneles en roca dura o cuando la masa de roca está sujeta a condiciones variables como fallas y zonas de cizallamiento. El método de perforación y voladura puede utilizarse en conjunto con el método de excavación secuencial al desarrollar aberturas de gran envergadura en la roca.

Se perfora una serie de agujeros de diámetro, longitud y dirección requeridos en la cara del túnel. Las perforadoras utilizadas para la perforación de túneles pueden ser accionadas ya sea neumática o

hidráulicamente y tener patas impulsoras de aire y/o montadas en perforadoras jumbo (**Figura 119**). Cuando se utilizan patas impulsoras de aire, siempre es recomendable utilizar plantillas para guiar la dirección de la perforación. Las perforadoras jumbo pueden tener un montaje simple en camión o riel. En máquinas avanzadas, el patrón de perforación tridimensional puede introducirse en el programa de la perforadora jumbo, por lo que no es necesario marcar el perfil en la cara del túnel antes de la perforación, a diferencia de la perforadora jumbo convencional. La elección del sistema de perforación dependerá del tamaño, forma y longitud del trabajo de perforación en cuestión. La presión del agua para el lavado de los agujeros de perforación debe controlarse para evitar debilitar la masa de roca circundante en caso de perforación en roca con juntas y de baja resistencia.

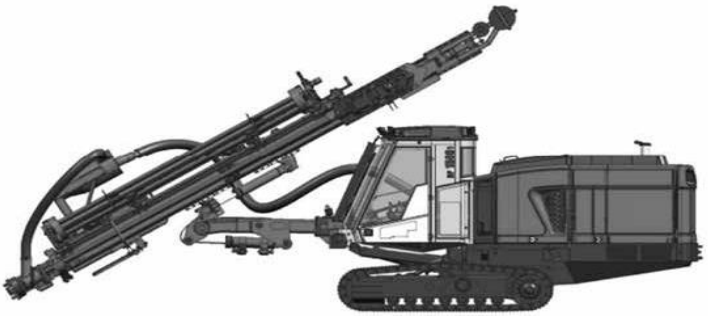


Figure 119: Perforador Jumbo

Bajo condiciones cuidadosamente controladas y monitoreadas, se cargan explosivos en los agujeros perforados y se detonan secuencialmente, rompiendo así la roca y distribuyendo la liberación de energía de los explosivos durante varios segundos. Los fragmentos de roca volada se retiran del túnel mediante una cinta transportadora o camiones volquete. Se necesita un soporte inicial que consista en alguna combinación de pernos de roca, espárragos y concreto proyectado para estabilizar la apertura en la masa de roca. Este proceso se repite en ciclos según sea necesario para completar la longitud del túnel. Después de que el túnel esté completo, se coloca un revestimiento final in situ.

10.7 Excavación Convencional mediante Rozadora o Herramientas Manuales

Además de la perforación y voladura controladas, la excavación convencional de túneles implica el uso de dos tipos de herramientas/equipos:

i) **Rozadora (Figura 120)** – Es un equipo de excavación alimentado electrohidráulicamente que consta de una

cabeza de corte rotativa montada en un brazo hidráulico, un dispositivo de carga que generalmente involucra una cinta transportadora, y un sistema de orugas que se desplaza sobre rieles para mover toda la máquina hacia adelante en la cara de la roca. El brazo puede moverse hacia arriba o hacia abajo y hacia la derecha o hacia la izquierda para cubrir toda la cara. El brazo presiona la cabeza de corte giratoria contra la cara de la roca, corta la roca en pequeños fragmentos que caen al invertido del túnel. Los brazos recolectores de la máquina trasladan la tierra a una plataforma que transfiere la tierra a una cinta transportadora para depositarla en vehículos de eliminación de tierra. En el caso de túneles en suelos blandos, las rozadoras operan bajo la protección y dentro de las pantallas. La cabeza de corte rotativa puede ser de dos tipos: transversal (gira paralela al eje del brazo cortador) o longitudinal (gira perpendicular al eje del brazo cortador). Además de la cabeza de corte rotativa, también están disponibles varios tipos de cabezas con funciones especiales. La rozadora puede cortar formas variables u extrañas y es adecuada para túneles cortos. Para túneles con una altura superior a aproximadamente 5 m, la excavación con rozadora puede tener que llevarse a cabo en múltiples etapas teniendo en cuenta las limitaciones del brazo, incluso en rocas competentes.

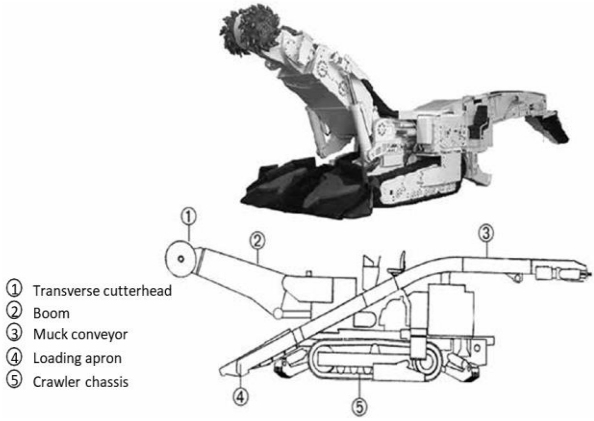


Figura 120: Rozadora

1. Cabezal de corte transversal, 2. Brazo, 3. Transportador de escombros, 4. Plataforma de carga, 5. Chasis de oruga.)

ii) **Herramientas Manuales** –La excavación se realiza manualmente por los trabajadores utilizando herramientas mecánicas pequeñas.

10.8 Técnicas de División de Rocas

Cuando no se puede volar la roca por diversas razones, como evitar ruido, vibraciones y hundimientos en la superficie, la roca se puede dividir a lo largo de planos de debilidades y fisuras. Luego, las piezas pueden recogerse y retirarse por separado. A continuación, se describen varias técnicas de división de rocas:

i) **Cuñas y División Convencional** – Se insertan cuñas y plumas en fisuras naturales o agujeros pre perforados, y se induce a la roca a dividirse a lo largo de la línea de las cuñas, para su posterior extracción.

ii) **Divisores Hidráulicos** – Se insertan en agujeros pre perforados siguiendo un patrón, y se induce a la roca a dividirse a lo largo de la línea de los agujeros de manera rápida y silenciosa, para su posterior extracción.

iii) **Divisores Químicos:** – Después de verterse en agujeros o fisuras, se expanden y dividen la roca en patrones predeterminados, para su posterior extracción.

iv) **Otros Agentes de División como Cardox, Nonex y Penetrating Cone Fracture (PCF):** – El sistema Cardox se basa en convertir dióxido de carbono líquido en gas de dióxido de carbono a alta presión con ignición. El gas se expande a través de fisuras y microgrietas en la roca y la rompe en tensión en lugar de compresión, como ocurre con los explosivos. El sistema Nonex consta de un cartucho que contiene un propelente, que al encenderse produce gases. La presión del gas aumenta a medida que el cartucho se sella en un taladro y, por lo tanto, provoca la división de la roca. El tubo PCF es un tubo plástico hueco, abierto en un extremo que luego puede llenarse con propelente sin humo y cerrarse con una pequeña tapa. El otro extremo está mecanizado en forma de cuña para encajar en el relleno y sellar el agujero cuando se inserta para la ignición. En la tapa, hay un puerto de entrada para la inserción de una mecha eléctrica, que es el medio para la detonación. Los gases producidos bajo presión rompen la roca por efecto de tensión. Dado que la roca requiere menos energía para romperse en tensión

que en compresión, la entrada de energía necesaria es menor para los divisores químicos en comparación con la voladura con explosivos.

10.9 Método de Excavación Secuencial (SEM)

Cuando el terreno carece de la resistencia para una excavación completa de frente, la remoción puede realizarse en fases. El Método de Excavación Secuencial (SEM), también conocido como el Método de Túneles Nuevos Austriacos (NATM) o Método Noruego de Túneles (NMT), es una técnica en la cual un túnel se excava secuencialmente en etapas; las etapas intermedias se soportan, según sea necesario, de manera controlada; y la siguiente porción se excava incrementalmente hasta que se completa la sección transversal completa. Aunque el SEM se usa comúnmente en suelos blandos y rocas débiles, también se puede combinar con métodos de perforación y voladura y utilizarse en aplicaciones de roca dura. El SEM generalmente se realiza en túneles más cortos y permite excavar un túnel de cualquier forma o tamaño.

En el SEM, la excavación se lleva a cabo utilizando métodos y equipos comunes de minería (como rozadoras, excavadoras hidráulicas, retroexcavadoras, etc.), elegidos según las condiciones del suelo. El suelo para la excavación debe estar completamente seco para aplicar SEM y, por lo tanto, el desagüe del terreno es esencial antes de la excavación. Pueden realizarse técnicas de mejora del terreno, como inyecciones de lechada, congelación del suelo, etc., para aumentar la resistencia del suelo y reducir su permeabilidad y, por lo tanto, estabilizar el suelo para la excavación del túnel. La excavación del terreno se sigue de la provisión de soporte temporal a través de proyección de concreto combinada con refuerzo de fibra o tela de alambre soldado, arcos de acero (generalmente vigas enrejadas) y a veces refuerzo del suelo (por ejemplo, clavado de suelos) para revestir el túnel o soportar la cara y, así, controlar el asentamiento. Después de que el túnel esté completo, se coloca un revestimiento final de concreto in situ para soportar las cargas permanentes.

11. MÁQUINA TUNELADORA (TBM)

11.1 La Máquina Tuneleradora (**Figura 121**) es una unidad móvil única completa que facilita la operación de diversas actividades de perforación de túneles y está compuesta por mecanismos de corte, empuje, dirección, sujeción, protección, perforación exploratoria, control y soporte del terreno, erección de revestimiento, remoción de escombros, ventilación y suministro de energía.

11.2 Una TBM típicamente consta de uno o dos escudos (grandes cilindros metálicos) y mecanismos de soporte que la siguen. Las principales

características de una TBM se enumeran a continuación:

i) En el extremo frontal del escudo, se encuentra una rueda cortadora giratoria.

ii) Detrás de la rueda cortadora hay una cámara, donde, según el tipo de TBM, el suelo excavado se mezcla con una lechada (TBM de cara con lechada) o se deja tal como está. La cámara puede estar bajo presión (máquina cerrada) o abierta a la presión externa (máquina abierta).

iii) Detrás de la cámara, hay un conjunto de gatos hidráulicos apoyados en la parte terminada del túnel que empujan la TBM hacia adelante. La sección trasera de la TBM se apoya contra las paredes del túnel y se utiliza para impulsar la cabeza de la TBM hacia adelante. En máxima extensión, la cabeza de la TBM se apoya contra las paredes del túnel y la parte trasera de la TBM se arrastra hacia adelante.

iv) Detrás del escudo, dentro de la parte terminada del túnel, se pueden encontrar varios mecanismos de soporte que forman parte de la TBM: sistemas de extracción de escombros (suelo/roca), conductos de lechada si son aplicables, salas de control, rieles para el transporte de los segmentos prefabricados, entre otros.

v) La rueda cortadora generalmente girará a una velocidad de 1 a 10 revoluciones por minuto (según el tamaño y estrato), cortando la cara de roca en virutas o excavando el suelo (escombros). Según el tipo de TBM, los escombros caerán sobre un sistema de cinta transportadora y serán llevados fuera del túnel, o se mezclarán con lechada y serán bombeados de nuevo hacia la entrada del túnel.

vi) Dependiendo de la estratificación rocosa y los requisitos del túnel, este puede ser encajado, revestido o dejado sin revestir. Esto se puede lograr mediante la introducción de secciones prefabricadas de concreto que se colocan con gatos a medida que la TBM avanza, mediante la construcción de formas de concreto, o en estratos de roca dura, dejando el túnel sin revestimiento y confiando en la roca circundante para manejar y distribuir la carga.

vii) A veces se forma un sistema de caissons en la cabeza de corte (en caso de que la presión en la cara del túnel sea mayor que la detrás de la cámara), lo que permite que los trabajadores vayan al frente de la TBM para inspección, mantenimiento y reparación. Si es necesario realizar estas tareas, se deben garantizar características de seguridad para trabajar bajo presión y capacitar a los trabajadores en el funcionamiento de las compuertas. Los requisitos de seguridad para trabajar en condiciones de aire comprimido deben seguir la norma IS:4138.

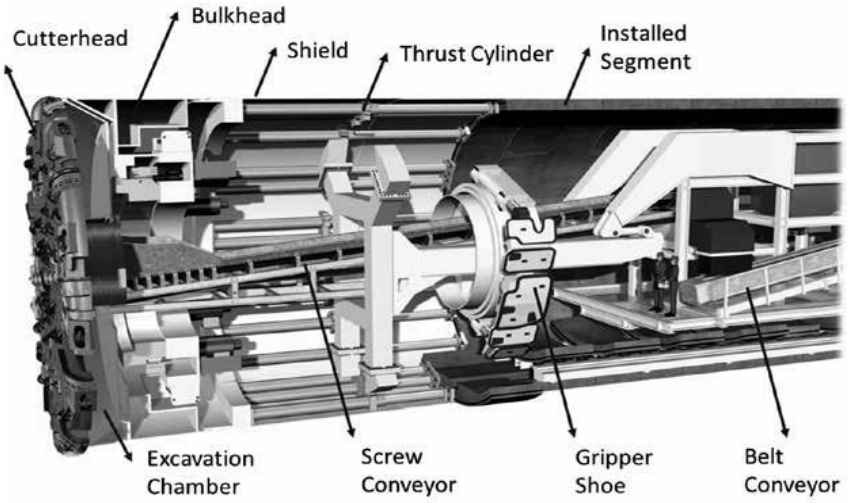


Figura 121: Máquina Perforadora de Túneles (TBM)

Cabezal Cortador, Mamparo, Escudo, Cilindro de Empuje, Segmento Instalado, Cámara de Excavación, Transportador de Tornillo, Zapata de Agarre, Transportador de Banda.

11.3 Se utilizan dos tipos diferentes de TBMs según las condiciones previstas del terreno: el tipo de escudo abierto y el tipo de escudo cerrado. El TBM de tipo abierto se refiere a aquellos que proporcionan soporte lateral únicamente. Puede utilizarse en condiciones donde la cara de la excavación se mantiene por sí misma. Los TBMs que caen en esta categoría incluyen el TBM de Garra o Viga Principal, el TBM de Escudo Único y el TBM de Doble Escudo.
El TBM de tipo cerrado se refiere a aquellos que proporcionan soporte lateral y frontal. Está destinado a aplicaciones bajo el nivel freático, con la entrada de agua evitada mediante aire comprimido o mediante el soporte de la cara de corte según el principio de lechada o EPB. Los TBMs que caen en esta categoría incluyen el TBM de Aire Comprimido, el TBM de Escudo de Lechada y el TBM de Equilibrio de Presión de Tierra (EPB).

11.4 Se discuten a continuación los tipos comunes de TBM:

11.4.1 *TBM de Garra (o Viga Principal)*
The Gripper TBM (**Figure 122**) es la forma clásica de máquina perforadora de túneles. Se utiliza para perforar túneles en roca dura con tiempo de permanencia medio a alto. Para avanzar, la máquina utiliza un sistema de reacción hidráulico de agarre (calzado de sujeción) que empuja radialmente contra las paredes del túnel y genera empuje detrás de la cabeza cortadora. Este TBM se utiliza normalmente con

revestimiento temporal no de concreto, mientras que la mayoría de los otros tipos de TBMs se utilizan con revestimiento segmentado. En el TBM de Viga Principal, la roca se sostiene utilizando métodos de soporte en el terreno como costillas de acero, anclajes de roca, mallas de vigas anulares y shotcrete. La tasa de avance de un TBM de Garra depende esencialmente del tiempo necesario para instalar los dispositivos de soporte en la roca. El TBM de Garra puede utilizarse de manera más económica si la roca o necesita un soporte constante.

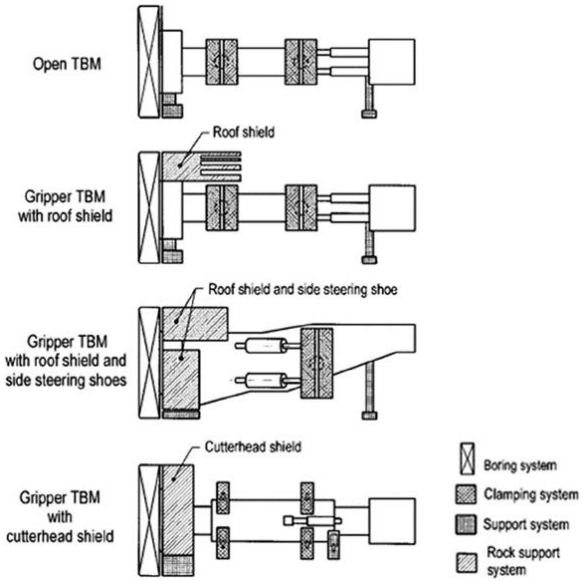


Figura 122: TBM de Garra

TBM Abierto, TBM con Garfios y Escudo Superior, TBM con Garfios y Escudo Superior con Zapatas de Dirección Lateral, TBM con Garfios y Escudo de Cabezal Cortador, Sistema de Perforación, Sistema de Sujeción, Sistema de Soporte, Sistema de Soporte para Rocas.

El TBM de Garra puede estar equipado con un techo de protección estática (escudo de techo), instalado detrás de la cabeza cortadora, para proteger al personal en caso de caídas de rocas aisladas. Si se proporcionan zapatas de dirección lateral además del escudo de techo, actúan como un escudo parcial con función de protección y también brindan soporte en la parte frontal al mover la máquina y dirigirla a través de la perforación. Las superficies laterales pueden desplazarse radialmente contra las paredes del túnel.

En un TBM de Garra con escudo de cabeza cortadora, la cabeza cortadora protege al personal de trabajo en el área de la cabeza cortadora. Al mover una máquina de este tipo, el revestimiento corto del escudo forma el soporte frontal.

11.4.2 *TBM de Escudo Único*

La TBM de Escudo Único (**Figura 123**) está diseñada principalmente para aplicaciones en roca dura con un tiempo de permanencia corto, roca blanda y roca frágil o fracturada. La cabeza cortadora no es esencialmente diferente a la de un TBM de Garra en relación con las herramientas de excavación y el transporte de escombros. Este tipo de TBM está equipado con un escudo para soportar temporalmente el túnel y proteger la máquina y al personal de trabajo. El escudo se extiende desde la cabeza cortadora sobre toda la máquina. El revestimiento del túnel se instala bajo la protección de la cola del escudo. El soporte con segmentos de hormigón armado es la técnica comúnmente utilizada. Según la geología y la aplicación del túnel, los segmentos se instalan directamente como revestimiento final (construcción de capa única) o como revestimiento temporal con la posterior adición de una capa interna de hormigón in situ (revestimiento de doble capa). A diferencia del TBM de Garra, la máquina avanza con gatos de empuje directamente contra el soporte existente del túnel.

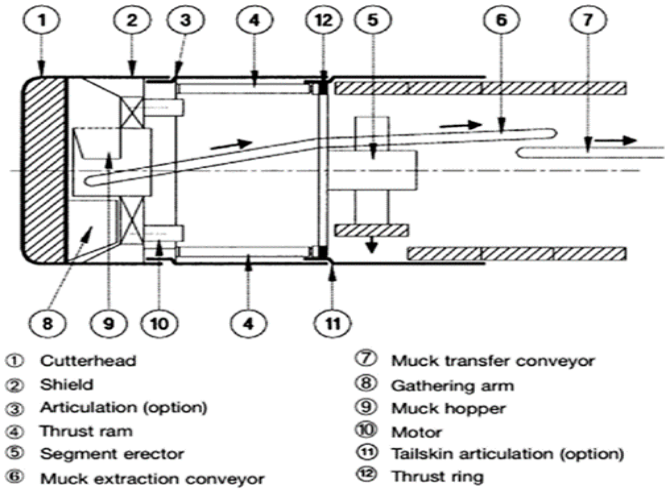


Figura 123: TBM de Escudo Único

1) Cabezal Cortador 2) Escudo 3) Articulación (opción) 4) Pistón de Empuje 5) Erector de Segmentos 6) Transportador de Material Excavado 7) Transportador de Transferencia de Material Excavado 8) Brazo Recolector 9) Tolva de Material Excavado 10) Motor 11) Articulación de la Cola (opción) 12) Anillo de Empuje

Dado que este tipo de TBM depende únicamente de empujar los segmentos para avanzar, a menudo se requieren segmentos más grandes. La operación es cíclica: mientras se colocan los segmentos, se interrumpe la perforación. Otra desventaja es que no hay una reacción de fuerza inversa para manipular el escudo cuando comienza a quedar atrapado.

11.4.3 *TBM de Doble Escudo*

La TBM de Doble Escudo (o Escudo Telescópico) (**Figura 124**) está diseñada para su aplicación en roca fracturada con un bajo tiempo de permanencia, estratos de roca inestables (con zonas de falla geológica) o donde se requiere una alta tasa de avance. Tiene dos componentes principales: el escudo frontal y el escudo de garra o principal. Ambas partes del escudo están conectadas entre sí con gatos telescópicos. La máquina puede sujetarse adecuadamente radialmente en el túnel utilizando las unidades de sujeción del escudo de garra; o donde la geología es deficiente, puede empujar el revestimiento existente en la dirección del avance. El escudo frontal puede avanzar sin influir en el escudo de garra, de modo que en general es posible una operación continua, casi independiente de la instalación del revestimiento.

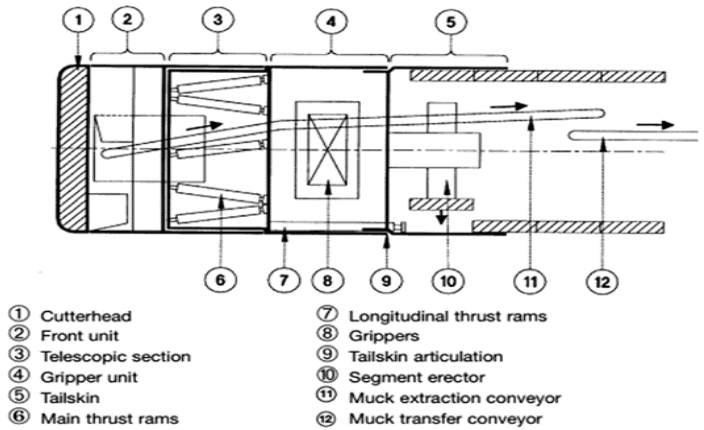


Figura 124: TBM de Doble Escudo

1) Cabezal Cortador 2) Unidad Frontal 3) Sección Telescópica 4) Unidad de Agarre 5) Cola 6) Pistones Principales de Empuje 7) Pistones de Empuje Longitudinales 8) Garras 9) Articulación de la Cola 10) Erector de Segmentos 11) Transportador de Extracción de Material Excavado 12) Transportador de Transferencia de Material Excavado

Las ventajas aparentes del rápido avance de un TBM de Doble Escudo solo se aplican con un revestimiento segmentado de capa única. El cuerpo de la máquina está completamente protegido para mantener la roca en su lugar hasta que se coloque el revestimiento. La perforación y la colocación de segmentos ocurren simultáneamente.

Sin embargo, el TBM de Doble Escudo tiene desventajas esenciales en comparación con el TBM de Escudo Único. Cuando se utiliza en roca fracturada con alta resistencia, el escudo trasero puede bloquearse debido a que el material entra en la junta telescópica. La máquina es larga y, por lo tanto, propensa a quedar atrapada.

11.4.4 *TBM de Equilibrio de Presión de Tierra (EPB)*

La TBM de Equilibrio de Presión de Tierra (EPB) (**Figura 125)** es un tipo de máquina cerrada y se basa en equilibrar la presión de empuje de la máquina contra las presiones del suelo y el agua del terreno que se está excavando. Está diseñada para aplicaciones en roca inestable, saturada, roca suelta, roca blanda o suelos bastante cohesivos. Sin embargo, no se recomienda para terrenos muy abrasivos y duros.

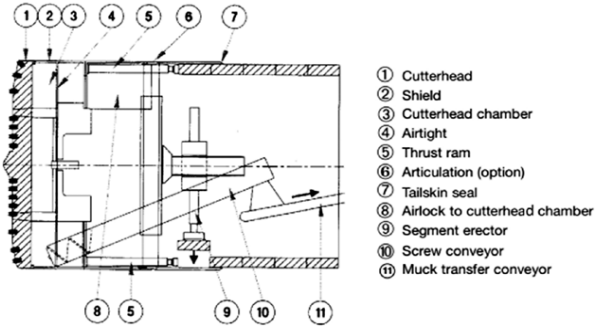


Figura 125: TBM de Equilibrio de Presión de Tierra (EPB)

1) Cabezal Cortador 2) Escudo 3) Cámara del Cabezal Cortador 4) Estanqueidad al Aire 5) Pistón de Empuje 6) Articulación (opción) 7) Sello de la Cola 8) Cámara Hermética al Aire del Cabezal Cortador 9) Erector de Segmentos 10) Transportador de Tornillo 11) Transportador de Transferencia de Material Excavado

En este tipo de TBM, el suelo se afloja en la cara del túnel mediante herramientas montadas en la cabeza cortadora giratoria. Los escombros excavados se presionan a través de aberturas en la cabeza cortadora hacia la cámara de excavación, donde se mezclan con la lechada de tierra y se presurizan bajo confinamiento para garantizar el soporte de la cara del túnel (presión positiva en la cara). Los escombros se extraen de la cámara de excavación de manera continua o intermitente mediante un sistema de descarga de alivio de presión que los lleva desde la presión de confinamiento hasta la presión ambiente en el túnel. La eliminación de escombros está controlada mecánicamente y se facilita mediante la rotación del transportador de tornillo y, posteriormente, mediante una cinta transportadora y/o contenedores.

11.4.5 *TBM de Cara de Lechada*

La TBM (Tunnel Boring Machine, por sus siglas en inglés) de Cara de Lechada (**Figura 126**) es un tipo de máquina cerrada diseñada para aplicaciones en condiciones geológicas e hidrológicas problemáticas, como rocas con fallas, suelos de dureza variable, terreno blando, excavaciones bajo cursos de agua, áreas con alta penetración de agua

(alta permeabilidad) o zonas gaseosas. Esta máquina requiere un sellado completo en el área de la cabeza de corte mientras excava para protegerse contra la intrusión de gas/agua en el entorno del túnel. A diferencia de la TBM EPB, donde el suelo excavado actúa como un medio de soporte para proporcionar presión de soporte en la cara del túnel, en la TBM de Cara de Lechada, un medio de soporte secundario en forma de lechada de bentonita (arcilla) garantiza el soporte en la cara del túnel.

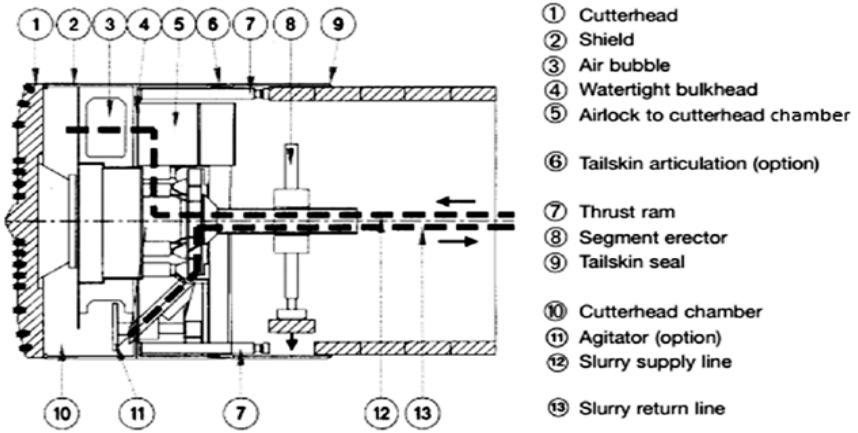


Figura 126: TBM de Cara de Lechada

1) Cabezal de Corte, 2) Escudo, 3) Burbuja de aire, 4) Mamparo estanco, 5) Esclusa de aire hacia la cámara del cabezal cortador, 6) Articulación de la cola, 7) Cilindro de empuje, 8) Erector de segmentos, 9) Sello de la cola, 10) Cámara de cabezal cortador, 11) Agitador, 12) Línea de suministro de lechada, 13) Línea de retorno de lechada.

En este tipo de TBM, el suelo se afloja en la cara del túnel mediante herramientas montadas en la cabeza cortadora rotativa. El material excavado se presiona hacia la cámara de excavación a través de aberturas en la cabeza cortadora y ahí se mezcla con la lechada de bentonita. La mezcla de lechada en la cámara de excavación se presuriza para equilibrar la presión del suelo y del agua en la cara de trabajo. Dependiendo de las características del terreno, pueden agregarse acondicionadores a la lechada.
La presión en la cara en la TBM de lechada se controla hidráulicamente mediante la adopción de uno de los dos siguientes métodos:

i) El primer método utiliza el bombeo diferencial: bombas de velocidad variable diseñadas para suministrar y descargar la lechada de la máquina se controlan de manera precisa para garantizar que la presión entre ellas se mantenga en la presión de la cara. La velocidad variable de la bomba de descarga se regula para controlar el flujo deseado,

mientras que la velocidad variable de la bomba de suministro se regula para determinar la presión en la cara de la máquina.

ii) El segundo método utiliza una bolsa de aire atrapada en una cámara detrás del mamparo para presurizar la lechada en la cámara de excavación. Se prefiere el segundo método de control de presión sobre el primero porque la regulación de la presión de los gases es más fácil y precisa (con tolerancias más ajustadas) que la de los líquidos. El segundo método es independiente del flujo de la lechada y permite un mayor flujo alrededor del circuito sin afectar la precisión del control de la presión en la cara. Se puede mantener, controlar y ajustar una presión active cuando el sistema de bombeo esta apagado

La mezcla de lechada de la cámara de excavación se bombea fuera del túnel hacia una planta de tratamiento de lechada en la superficie mediante un sistema de transporte hidráulico (tubos largos con bombas potenciadoras en línea). El material excavado se trata y se separa de la mezcla de lechada en la planta de tratamiento de lechada. Esto también permite la dispersión segura de componentes gaseosos peligrosos, si los hubiera, sin poner en peligro al personal que trabaja en el túnel.

11.4.6 *Tuneladora de Excavación con Escudo Mezclador*

La TBM con Escudo Mezclador está equipada con una cabeza cortadora de cara completa que cuenta con características combinadas para la excavación en roca dura y suelo. Está diseñada para su aplicación en áreas caracterizadas por condiciones geológicas mixtas, como una cara mixta de roca y suelo o una cara de túnel inestable. La máquina puede trabajar en modo cerrado o abierto y con diferentes técnicas de confinamiento según las condiciones geológicas del terreno a excavar. El cambio de un modo de trabajo a otro requiere intervención mecánica para cambiar la configuración de la máquina. Se utilizan diferentes medios de extracción de material excavado para cada modo de trabajo.
Se presentan tres categorías principales de TBM con Escudo Mezclador:

i) Máquina capaz de trabajar en modo abierto, con una cinta transportadora extrayendo el material excavado, y, después de un cambio en la configuración, en modo cerrado, con confinamiento de equilibrio de presión de tierra proporcionado por un transportador de tornillo.

ii) Máquina capaz de trabajar en modo abierto, con una cinta transportadora extrayendo el material excavado, y, después de un cambio en la configuración, en modo cerrado, con confinamiento de lechada proporcionado

mediante un sistema hidráulico de extracción de material (después de aislar la cinta transportadora).

iii) Máquina capaz de proporcionar confinamiento de equilibrio de presión de tierra y confinamiento de lechada. Este tipo de TBM suele estar restringido a perforaciones de gran diámetro debido al espacio requerido para el equipo especial de cada método de confinamiento.

La TBM con Escudo Mezclador proporciona flexibilidad en la excavación de roca, suelo y terreno mixto. Sin embargo, el desgaste y daño de la cuchilla suelen ser elevados y la descarga de material excavado puede ser difícil debido a la mezcla de roca y suelo.

12. SISTEMA DE VENTILACIÓN DE TÚNELES (SVT)

Los Sistemas de Ventilación de Túneles (para tráfico vehicular) operan en dos modos:

i) **Modo Normal** – para diluir gases tóxicos y contaminantes producidos por vehículos motorizados y garantizar una operación segura.

ii) **Modo de Emergencia** –para eliminar humo y calor excesivo del túnel en caso de emergencia (por ejemplo, un incendio).

La cantidad de aire fresco requerida para introducir en un túnel depende de los siguientes factores:

i) Características del tráfico: volumen de tráfico, densidad de tráfico, composición del tráfico, dirección del flujo de tráfico (unidireccional o bidireccional).

ii) Efecto de la elevación

iii) Efecto de la pendiente y velocidad del vehículo

iv) Condiciones meteorológicas

Los tipos básicos de sistemas de ventilación de túneles, según se describen en la **Tabla 33**, se utilizan de forma individual o en combinación para expulsar el aire estancado e introducir aire fresco en el espacio cerrado del túnel.

Tabla 33: Tipos de Sistemas de Ventilación de Túneles

Sl. No.	Tipo de Sistema	Características
1.	Ventilación natural (**Figura 127**)	El movimiento del aire se controla únicamente por condiciones meteorológicas y el efecto pistón generado por el tráfico vehicular, donde el aire viciado es expulsado del túnel por los vehículos que circulan en la misma dirección. El efecto pistón se reduce en el caso de tráfico bidireccional. Las condiciones meteorológicas surgen de las diferencias de elevación y temperatura ambiente entre los dos portales del túnel, así como de los vientos predominantes que atraviesan el túnel. Normalmente, para túneles de longitud inferior a 500 m, la ventilación natural es suficiente. La excepción serían los túneles urbanos con un alto volumen de tráfico y la posibilidad de congestión durante las horas pico, donde se hace necesaria la provisión de ventilación mecánica. Otra excepción son los túneles de más de 500 m con un volumen de tráfico muy bajo, donde la ventilación natural es suficiente. Cuando sea técnicamente factible, la provisión de un pozo vertical cerca del centro del túnel mejoraría efectivamente la ventilación natural debido a un efecto de chimenea adicional (es decir, diferencia de elevación). Si dicho pozo está equipado con un extractor, el efecto de la chimenea no se verá afectado por cambios en las condiciones atmosféricas. Los ventiladores axiales suelen instalarse en túneles ventilados de forma natural para emergencias de fuego y humo.

2.	Ventilación Longitudinal/Lineal (**Figura 128**)	Similar a la ventilación natural con la adición de ventiladores mecánicos para mejorar las características de ventilación. El aire fresco introducido en un extremo se mezcla con el aire dentro del túnel y viaja a través del túnel hasta el otro extremo debido a su propia presión, ayudado por el efecto pistón creado por el tráfico vehicular. Aquí, el túnel actúa como la conducción para los ventiladores. Los ventiladores pueden ser reversibles para impulsar aire hacia el túnel o para extraer aire del túnel. Cuando se proporciona un pozo central, el aire fresco introducido en ambos extremos viaja hasta el pozo y se evacua a través de él. Este sistema es más efectivo para túneles con tráfico unidireccional. En el caso de túneles largos, el flujo lineal se ve favorecido por ventiladores jet (potenciadores) ubicados en lugares intermitentes cerca y colgados del arco del túnel.
3.	Ventilación Semi transversal (**Figura 129**)	Uso de ventiladores mecánicos para el movimiento del aire. Se añade una conducción con conductos que permiten la distribución uniforme del aire en todo el túnel. Este pleno o conducción suele ubicarse encima de un techo suspendido o debajo de una losa estructural dentro de un túnel. El aire sale o entra a través de los portales, mientras que el túnel actúa como la conducción de escape o admisión respectivamente. Invertir la dirección de los ventiladores puede afectar la eficiencia del sistema. Este sistema es adecuado para túneles con tráfico bidireccional.

4.	Ventilación Totalmente Transversal (**Figura 130**)	Utilizada principalmente en túneles largos con tráfico pesado o bidireccional. Uso de dos conductos de aire, uno para el suministro de aire y otro para la salida de aire. El túnel no se utiliza como parte de la conducción. Se crea una diferencia de presión entre los conductos de suministro y escape para controlar el flujo de aire. Los conductos suelen estar ubicados en el techo (Aire de Escape) y en la base (Aire Fresco), pero también pueden estar a lo largo de los lados del túnel.
5.	Extracción de Punto Único	Se utiliza en conjunto con sistemas de ventilación semitransversal y totalmente transversal para aumentar el flujo de aire durante emergencias (por ejemplo, incendios). Mecanismo controlado a distancia para aumentar el tamaño de apertura de los conductos de escape durante emergencias.

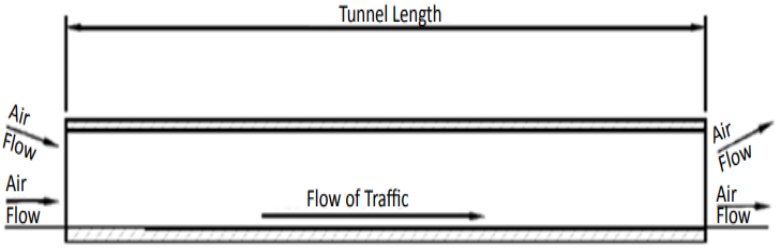


Figura 127: Ventilación Natural

Tunnel Length: Longitud del Túnel Air Flow: Flujo de Aire Flow of Traffic Flujo de Tráfico

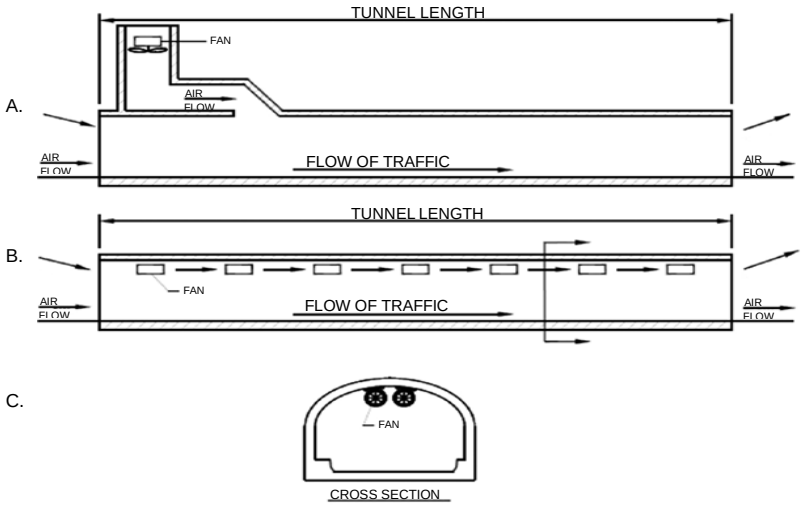


Figure 128: Figura 128: Ventilación Longitudinal A) Boquilla Saccardo B) Ventiladores de Chorro C) Sección Transversal

Longitud del Túnel. Ventilador, Aire, Flujo, Flujo de Tráfico, Sección Transversal

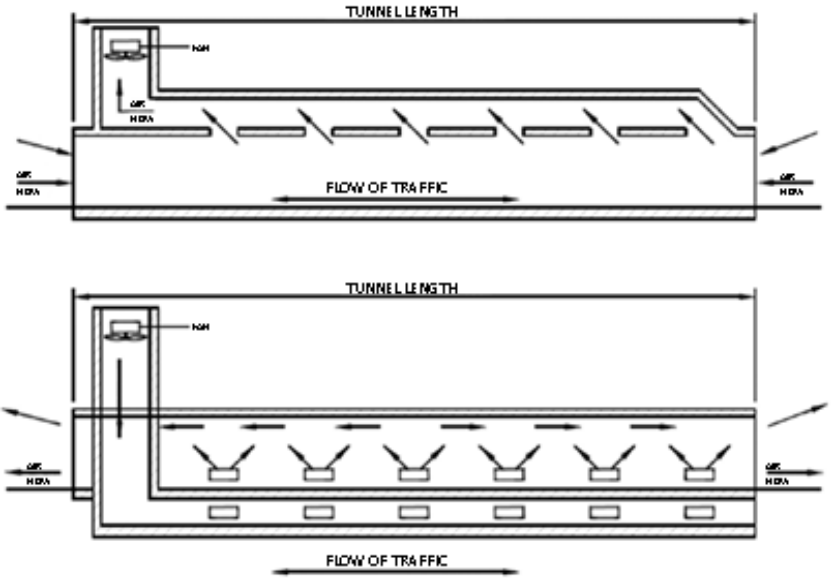


Figura 129: Ventilación Semitransversal

Longitud del Túnel, Flujo de Tráfico, Ventilador, Aire, Flujo

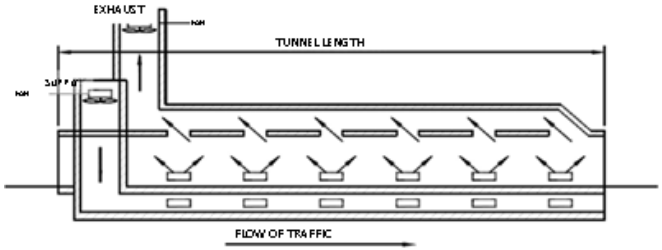


Figure 130: Fully Transverse Ventilation

Escape, Longitud del Túnel, Suministro, Ventilador, Aire, Flujo, Flujo de tráfico

Los equipos utilizados en los sistemas de ventilación de túneles se enumeran en la **Tabla 34.**

Tabla 34: Equipo de Ventilación de Túneles

Sl. No.	Equipo	Características
1.	Ventilador (**Figura 131**)	i) Generalmente de dos tipos: axial y centrífugo. ii) Ventilador Axial a) Descarga aire paralelo al eje de rotación del impulsor. b) Común para sistemas de ventilación longitudinal. c) Dos tipos de ventiladores axiales: tipo tubo y tipo paleta. d) La diferencia entre los dos es la adición de paletas guía en uno o ambos lados del impulsor del ventilador en el caso de un ventilador axial de paletas, lo que permite entregar una presión más alta que el ventilador axial de tubo. e) Los ventiladores axiales comúnmente se montan horizontalmente en el techo del túnel en varios intervalos. iii) Ventilador Centrífugo a) Descarga aire a 90° con respecto al eje de rotación del impulsor. b) Común para sistemas de ventilación semi trasversales y totalmente transversales, así como en sistemas con boquillas Saccardo y ventilación longitudinal. c) Puede ser curvado hacia atrás o con pala aerodinámica, para aplicaciones en túneles.

		d) Ubicados predominantemente dentro de edificios de ventilación o portales donde están conectados a conductos de suministro o escape.
2.	Motor	i) Motores eléctricos comúnmente utilizados para accionar los ventiladores. ii) Se utilizan motores de velocidad constante o velocidad variable, dependiendo de los requisitos de diseño.
3.	Unidad de ventilador	i) El motor debe conectarse al ventilador ya sea directa o indirectamente. ii) En la transmisión directa, el motor se conecta directamente al eje del impulsor. iii) En la transmisión indirecta, el motor se conecta al eje del impulsor mediante correas, cadenas o engranajes. iv) La transmisión indirecta permite una mayor flexibilidad en la ubicación del motor.
4.	Atenuador de Sonido	i) Para mitigar el nivel de ruido generado por el sistema de escape del túnel cerca de una ubicación residencial. ii) Atenuadores de ruido montados directamente en el ventilador o dentro de los conductos a lo largo del sistema.
5.	Amortiguador	i) Para controlar el flujo de aire dentro de los conductos. ii) Generalmente colocado en modo completamente abierto o cerrado; sin embargo, algunas compuertas pueden operarse en una posición intermedia.

Figure 131: Tipos de Ventiladores

13. OTROS SISTEMAS DE TÚNELES

Otros sistemas de túneles comunes se describen en la **Tabla 35**.

Tabla 35: Otros sistemas de túneles

Sl. No.	Sistema	Características
1.	Sistema de Iluminación	i) Diversos sistemas de iluminación utilizados en túneles: fluorescente, sodio de alta presión, sodio de baja presión, halogenuros metálicos, iluminación LED. ii) La selección del sistema de iluminación está determinada por el costo de su ciclo de vida y la cantidad de luz requerida. iii) La provisión de superficies altamente reflectantes en las paredes y el techo, como baldosas o paneles metálicos, puede mejorar la luminiscencia del túnel para un conjunto determinado de luminarias. iv) Dado que los requisitos de intensidad de luz en diferentes zonas del túnel durante el día son diferentes a los de la noche, la intensidad requerida se puede lograr colocando las luminarias en dos circuitos diferentes. Alternativamente, también se pueden utilizar luminarias que puedan dar salida variable mediante el uso de atenuadores. v) Dado que los requisitos de intensidad de luz en diferentes zonas del túnel durante el día son diferentes a los de la noche, la intensidad requerida se puede lograr colocando las luminarias en dos circuitos diferentes. Alternativamente, también se pueden utilizar luminarias que puedan dar salida variable mediante el uso de atenuadores. vi) Dado que la iluminación del túnel se requiere las 24 horas del día, es necesario instalar y mantener un sistema de respaldo al 100%.
2.	Sistemas de seguridad humana y contra incendios	i) Estos sistemas incluyen: paneles de control, dispositivos de iniciación (por ejemplo, detectores de calor y humo, estaciones de tiro, cámaras), dispositivos de notificación (por ejemplo, destellos luminosos, sirenas, radios, señales de mensaje variable), cableado, conductos y cables, señales de salida de emergencia, hidrantes contra incendios, extintores, reservorio de agua, bobina de manguera contra incendios con suministro, rociadores y

		camiones de bomberos. ii) Estos sistemas se utilizan para detectar un incendio durante una emergencia, iniciar una respuesta de emergencia e informar a los usuarios del túnel sobre las acciones de emergencia apropiadas a tomar.
3.	Sistema de Distribución de Energía	i) Incluye equipos eléctricos, cableado, conductos y cables utilizados para distribuir energía eléctrica desde el suministro de servicios públicos (es decir, entrada de servicio) a las terminales de línea de los equipos. ii) El equipo eléctrico incluye transformadores, aparamenta, tableros de distribución, tableros, centros de control de motores, arrancadores, interruptores y receptáculos.
4.	Sistema de Señalización y Mensajería	i) Para controlar el tráfico del túnel; puede proporcionar indicaciones y advertencias a los usuarios del túnel y ayudar en la evacuación del túnel en caso de emergencia. ii) Se puede montar en las paredes del túnel, en el techo o en las barreras de los portales. iii) Incluye letreros reflectantes y pantallas luminosas que utilizan bombillas o LED para transmitir mensajes.
5.	Sistema de Seguridad	i) Incluye sistemas de vigilancia, sistemas de comunicación, sistema de detección de tráfico detenido, sistemas de detección de sentido contrario, sistemas CCTV (Circuito Cerrado de Televisión), SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos), sistemas de monitoreo químico/biológico/radiológico, sistemas de detección de explosiones. , sistemas de gestión del tráfico, sistemas de control de acceso al túnel, salas de equipos, centros de mando y control.

PART D: EQUIPOS PARA CONTROL DE CALIDAD

14. PRUEBAS DE SUELOS

Tabla 36 Indica las diversas pruebas para suelos junto con el aparato necesario y los códigos BIS aplicables.

Tabla 36: Pruebas de suelos

Sl. No.	Prueba con el Código de Práctica Pertinente.	Aparato/Equipo
1.	Determinación del Contenido de Agua **(IS: 2720 Parte II)**	**i) Método de Secado en Horno:** Recipiente, Balanza, Horno, Desecador **ii) Método de Baño de Arena:** Recipiente, Bandeja Resistente al Calor, Balanza, Baño de Arena, Equipo de Calentamiento, Cuchillo Paleta/Espátula de Acero, Pala **iii) Método de Alcohol:** Cáscara de evaporación, Cuchillo Paleta/Espátula de Acero, Balanza, Alcohol Metilado **iv) Determinación Rápida utilizando un Medidor de Humedad por Torsión con Lámpara de Infrarrojos:** Lámpara de Infrarrojos, Medidor de Humedad por Torsión, Cuchillo Paleta/Espátula de Acero **v) Determinación Rápida mediante la Presión de Gas desarrollada por la reacción del Carburo de Calcio con el Agua Libre del Suelo:** Recipiente Metálico a Presión, Balanza Contrapesada, Pala, Botella de Almacenamiento de Carburo de Calcio, Cepillo de Limpieza, Bolas de Acero
2.	Determinación de la Gravedad Específica para Suelos de Grano Fino **(IS: 2720 Part III/ Section 1)**	Botellas de Densidad con Tapones, Baño de Agua, Desecador al Vacío, Desecador que contiene gel de sílice anhidro, Horno de Secado Controlado Termostáticamente, Balanza, Filtro/Bomba de Vacío, Espátula, Botella de Lavado, Divisor de Muestra (tipo de múltiples ranuras), Tubo de Goma.

Sl. No.	Prueba con el Código de Práctica Pertinente.	Aparato/Equipo
3.	Determinación de la Gravedad Específica para Suelos de Grano Fino, Mediano y Grueso **(IS: 2720 Parte III/ Sección 2)**	Jarra de Gas, Placa de Vidrio Molido o Cubierta Sellada de Plástico, Aparato Mecánico de Agitación, Balanza, Termómetro.
4.	Análisis de Tamaño de Partículas **(IS: 2720 Parte IV)**	Tamices IS con tapa y bandeja (de varios tamaños según sea necesario), Balanza, Mortero y mano de mortero de goma, Cepillos, Bandejas o Cubos, Horno, Tamizadora Mecánica (opcional), Divisor.
5.	Determinación del Límite Líquido y Límite Plástico (Índice de Plasticidad) **(IS: 2720 Parte V)**	Dispositivo Mecánico de Límite Líquido, Herramienta de Ranurado, Dispositivo de Evaporación de Porcelana, Placa de Vidrio Plana, Espátula, Cuchillos Paleta, Balanza, Horno, Botella de Lavado o Beaker, Contenedores
6.	Determinación de los Factores de Contracción **(IS: 2720 Parte VI)**	Plato de Evaporación, Espátula, Plato de Retracción, Borde Recto, Taza de Vidrio, Placas de Vidrio, Horno, Tamiz, Balanzas, Mercurio, Desecador
7.	Determinación de la Relación Contenido de Agua-Densidad Seca utilizando Compactación Ligera (Ensayo de Compactación Proctor Estándar) **(IS: 2720 Parte VII)**	Molde Cilíndrico de Metal, Extrusor de Muestra (opcional), Balanzas, Horno, Contenedor, Borde Recto de Acero, Tamices, Herramientas de Mezcla, Compactador de Metal
8.	Determinación de la Relación Contenido de Agua-Densidad Seca utilizando Compactación Pesada (Ensayo de Compactación Proctor Modificado) **(IS: 2720 Parte VIII)**	Molde Cilíndrico de Metal, Extrusor de Muestra (opcional), Balanzas, Horno, Contenedor, Borde Recto de Acero, Tamices, Herramientas de Mezcla, Compactador de Metal
9.	Determinación de la Relación Densidad Seca-Contenido de Humedad por el Método de Masa Constante del Suelo **(IS: 2720 Parte IX)**	Tubo Cilíndrico de Metal con Base, Compactador de Metal, Balanzas, Horno, Contenedor, Tamiz (tamaño 4.75 mm), Pipeta, Herramientas de Mezcla

Sl. No.	Prueba con el Código de Práctica Pertinente.	Aparato/Equipo
10.	Determinación de la Resistencia a la Compresión No Confinada **(IS: 2720 Parte X)**	Dispositivo de Compresión, Anillo de Comprobación, Indicador de Deformación, Calibrador Vernier, Cronómetro, Horno, Balanzas de Pesaje, Equipo Variado (Herramientas para recorte y tallado de especímenes, aparato de remodelado, recipientes para contenido de agua, etc.)
11.	Determinación de los Parámetros de Resistencia al Corte de un Especimen de Suelo Cohesivo Saturado probado en Compresión Triaxial No Consolidada No Drenada sin la Medición de la Presión del Agua Porosa **(IS: 2720 Parte XI)**	Molde Dividido, Cuchillo para Recorte, Sierra de Alambre para Piano, Regla de Metal Recta, Escala de Metal, Tapas de Extremo de Metal o Plástico No Corrosivas, Membrana de Caucho Sin Costuras, Estirador de Membrana, Anillos de Goma, Aparato para la Determinación del Contenido de Humedad, Balanza, Extrusores, Tubos de Pared Delgada, Torno de Suelo, Caja de Medidores, Celda de Ensayo Triaxial, Aparato para aplicar y mantener la presión deseada en el fluido dentro de la celda, Máquina capaz de aplicar compresión axial al espécimen, Anillos de Comprobación
12.	Determinación de los Parámetros de Resistencia al Corte de Suelo Saturado a partir de la Prueba de Compresión Triaxial No Consolidada No Drenada con Medición de la Presión del Agua Porosa **(IS: 2720 Parte XII)**	Celda Triaxial, Aparato para aplicar presión a la celda y mantenerla a una magnitud constante, Sistema para aplicar esfuerzo axial adicional, Sistema para medir la presión del agua porosa, Sistema para medir cambios en el volumen de la muestra de suelo
13.	Prueba de Corte Directo para la determinación de la resistencia al corte del suelo con un tamaño máximo de partícula de 4.75 mm en condiciones no drenadas, no drenadas consolidadas y drenadas consolidadas **(IS: 2720 Parte XIII)**	Caja de Corte, Bastidor de Carga, Pesas, Anillo de Comprobación, Micrómetro con Indicador de Dial, Cortador de Muestra o Cilindro, Cronómetro, Balanza, Espátula, Regla Recta

Sl. No.	Prueba con el Código de Práctica Pertinente.	Aparato/Equipo
14.	Determinación del Índice de Densidad (Densidad Relativa) de Suelos Cohe-sionados de Drenaje Libre **(IS: 2720 Parte XIV)**	Mesa Vibradora, Moldes con Camisas Guía, Placas Base de Sobrecarga con Mango, Pases de Sobrecarga, Soporte de Indicador de Dial, Indicador de Dial, Barra de Calibración, Dispositivos de Vertido, Tazones de Mezcla, Balanza de Pesaje, Polipasto, Cucharón de Mano de Metal, Cepillo de Cerda, Dispositivo de Cronometraje, Regla Recta de Metal, Micrómetro
15.	Determinación de las Propiedades de Consolidación **(IS: 2720 Parte XV)**	Anillo de Consolidación, Piedras Porosas, Celda de Consolidación, Indicador de Dial, Dispositivo de Carga, Gato y Marco, Plantilla, Equipo de Recorte, Equipo para medir la altura inicial del espécimen de prueba, Contenedores para Contenido de Humedad, Horno de Aire Seco, Desecador, Balanzas, Dispositivo de Cronometraje
16.	Determinación de la Razón de Soporte de California (CBR) en Laboratorio **(IS: 2720 Parte XVI)**	Moldes (con Placa Base, Varilla de Soporte y Tuerca de Mariposa), Collar, Disco Separador, Compactador de Metal, Aparato de Medición de Expansión, Pesas, Máquina de Carga, Pistón de Penetración, Indicadores de Dial, Tamices, Equipo Variado (Bowl de Mezcla, Regla Recta, Básculas, Tanque o Bandeja de Remojo, Horno de Secado, Papel de Filtro, Platos, Jarra Medidora Calibrada)
17.	Determinación de la Permeabilidad en Laboratorio **(IS: 2720 Parte XVII)**	Ensamble del Molde, Compactador, Conjunto de Tuberías, Tanque de Cabeza Constante, Bomba de Vacío, Equipo Variado (Tamices IS, Bandeja de Mezcla, Cilindro Graduado, Escala Métrica, Cronómetro, Calibre de Alambre de 75 mm, Termómetro, Fuente de Agua Desaireada)
18.	Determinación del Equivalente de Humedad en Campo **(IS: 2720 Parte VIII)**	Caja de Evaporación, Espátula, Cuentagotas, Contenedores, Balanza, Mortero y Mano, Tamices

Sl. No.	Prueba con el Código de Práctica Pertinente.	Aparato/Equipo
19.	Determinación del Equivalente de Humedad en Centrífuga **(IS: 2720 Parte IX)**	Cápsula de Gooch, Papel de Filtro, Taza de Muñón, Centrífuga, Balanza, Horno
20.	Determinación de la Contracción Lineal de Suelos Remodelados **(IS: 2720 Parte XX)**	Cuchillos Paleta, Placa de Vidrio Plana, Molde, Horno, Calibrador Vernier, Grasa de Silicona u otra grasa adecuada
21.	Determinación de Sólidos Solubles Totales **(IS: 2720 Parte XXI)**	Agitador de Botellas, Horno, Balanza Química, Embudo de Büchner o Vidrio, Plato de Porcelana Esmaltada o Plato de Vidrio, Matraz de Filtración, Botella de Vidrio, Cilindro Medidor, Pipeta, Bomba de Vacío, Desecador, Termómetro, Baño de Agua, Vela de Filtrado, Papel de Filtro
22.	Determinación de la Materia Orgánica **(IS: 2720 Parte XXII)**	Horno, Balanza Química, Matraz Volumétrico, Buretas, Pipetas, Cilindros Medidores Graduados, Desecador, Botella de Pesaje de Vidrio, Tamices, Botella de Lavado
23.	Determinación del Carbonato de Calcio **(IS: 2720 Parte XXIII)**	Bureta, Matraz Cónico, Embudo de Vidrio, Papel de Filtro
24.	Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico **(IS: 2720 Parte XIV)**	**Para la Determinación de Cationes Metálicos Intercambiables:** i) **Método Estándar:** Embudo de Büchner, Pipetas, Cilindros Graduados, Papel de Filtro, Cuencos de Sílice, Baño de Agua, Placa Calefactora, Horno Mufla, Bureta, Balanza Química, Beaker, Matraz **ii) Método Rápido:** Pipetas, Tubo de Ensayo, Papel de Filtro, Matraz Erlenmeyer, Beaker, Balanza Química, Bureta, Varilla de Vidrio **Para la Determinación de Iones de Hidrógeno Intercambiables:** Embudo de Filtración con Carbón, Matraz Cónico, Beaker

Sl. No.	Prueba con el Código de Práctica Pertinente.	Aparato/Equipo
		Para la Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico (Iones Metálicos e Hidrógeno juntos): Tubos de Centrífuga, Centrífuga, Beaker, Matraz Cónico, Pipeta, Bureta
25.	Determinación de la Relación Sílice-Sesquióxido **(IS: 2720 Part XV)**	Botellas de Vidrio, Cilindro, Platos de Porcelana, Embudo de Büchner, Carro de Vacío, Aspirador, Matraces, Crisol con Tapa, Pinzas, Plato de Platino, Beakers, Horno Mufla, Papel de Filtro
26.	Determinación del Valor de pH **(IS: 2720 Part XVI)**	Medidor de pH, Balanza Analítica, Beakers de Vidrio, Matraces Volumétricos, Botella de Lavado, Mortero con Mano de Mortero Cubierta de Goma
27.	Determinación de los Sulfatos Totales Solubles **(IS: 2720 Part XVII)**	i) **Método de Precipitación:** Blanza Analítica, Beaker de Vidrio, Embudo de Vidrio, Botella de Vidrio, Crisol, Equipo de Calentamiento, Pipeta, Bureta, Mortero con Mano de Mortero Cubierta de Goma, Papel de Filtro, Horno Mufla, Agitador Mecánico, Horno de Secado ii) **Método Volumétrico:** Balanza Analítica, Beaker de Vidrio, Embudo de Vidrio, Matraces Medidores, Pipeta, Bureta, Matraces Cónicos, Papel de Filtro, Equipo de Calentamiento, Horno de Secado Colorimetric/ Turbidimetric **i) Método Colorimétrico / Turbidimétrico:** Matraz Cónico, Matraz Volumétrico, Balanza Analítica, Colorímetro o Turbidímetro Fotoeléctrico, Papel de Filtro
28.	Determinación de la Densidad Seca de los Suelos en el Lugar mediante el Método de Reemplazo de Arena **(IS: 2720 Part XVIII)**	i) **Método de Pequeño Cilindro de Vertido (para suelos finos y medianos):** Pequeño Cilindro de Vertido de Arena, Herramientas para Excavar Agujeros, Contenedor Cilíndrico de Calibración, Balanza, Superficie Plana, Contenedores de Metal, Cortador de Núcleo de Acero Cilíndrico, Bandeja de Metal con Agujero

Sl. No.	Prueba conforme a la Normativa Pertinente.	Aparato/Equipo
		ii) Método del Cilindro de Vertido Grande (para suelos de grano fino, medio y grueso): Cilindro Grande de Vertido de Arena, Herramientas para Excavar Agujeros, Contenedor Cilíndrico de Calibración, Balanza, Superficie Lisa, Contenedores Metálicos, Bandeja Metálica con Orificio
29.	Determinación de la Densidad Seca de Suelos In Situ mediante el Método del Cortador de Núcleos (IS: 2720 Parte XIX)	Núcleo Cortador Cilíndrico, Taco de Acero, Pisón de Acero, Balanza, Espátula, Regla de Acero, Herramienta de Injerto o Pala o Pico, Regla Recta, Aparato (opcional) para extraer muestras del cortador, Aparato para la determinación del contenido de agua
30.	Prueba de Cizallamiento con Vástago en Laboratorio de Suelos Cohesivos con Baja Resistencia al Corte para Determinar su Resistencia al Corte no Drenada (IS: 2720 Parte XXX)	Aparato manual o motorizado con paleta (que tenga cuatro aspas) y aplicador de torque
31.	Determinación en Campo del Índice de Soporte de California (CBR) (IS: 2720 Parte XXXI)	Dispositivo de Carga (Gato Mecánico de Tornillo con Cabezal Giratorio), Equipo (camión, tractor, estructura o cualquier otro equipo adecuado) para proporcionar reacción para la carga, Gatos tipo Riel, Anillo de Comprobación, Pistón de Penetración Metálico, Extensiones de Tubería o Varilla con Rosca Interna, Conectores, Indicador de Dial, Soporte de Indicador de Dial, Peso de Sobrecarga, Nivel de Burbuja, Pico, Pala, Pala, Cepillo, Aparato para Determinación de Humedad, Aparato para Determinación de Densidad
32.	Determinación de la Densidad In Situ mediante el Método de Anillo y Reemplazo de Agua (IS: 2720 Parte XXXIII)	Anillo de Densidad y Clavijas de Acero (si es necesario), Regla Recta, Película de Plástico, Conjunto de Indicador y Soportes, Bolsas de arpillera llenas de yeso rápido o arena, Aparato para verter en el agujero, medir y quitar

Sl. No.	Prueba conforme a la Normativa Pertinente.	Aparato/Equipo
		Volumen de agua requerido, Balanza, Aparato para determinar el contenido de humedad, Plataforma de pesaje, Contenedores, Herramientas manuales para excavar y limpiar agujeros, Tamices IS (según sea necesario), Lata de sifón, Cilindros de medición.
33.	Medición de la Densidad de Suelos en Sitio mediante el Método del Globo de Caucho (IS: 2720 Parte XXXIV)	Recipiente calibrado, Balanzas, Aparato para la determinación del contenido de humedad, Pico pequeño, Cinceles, Cucharas para excavar hoyos de prueba, Bolsas de plástico, Cubos con tapas para retener el suelo tomado de los hoyos de prueba, Termómetro para determinar la temperatura del agua, Pincel pequeño.
34.	Medición de la Presión Negativa del Agua en Poros (IS: 2720 Parte XXXV)	Manómetro de equilibrio, Indicador nulo, Botella de agua, Taza superior, Anillos de goma, Membrana de goma sin costuras, Piedra porosa de cerámica fina, Plomo de aire, Piedra porosa gruesa, Discos de tela de poliéster, Celda triaxial, Manómetro de presión, Regulador de presión de aire, Filtro de aire, Bureta, Compresor de aire, Manómetro de mercurio de presión calibrada, Cilindro de control de tornillo, Sistema de olla de mercurio autorregulable, Depósito de agua desaireada, Tubos y válvulas, Accesorios (para la preparación de muestras de suelo, extrusión, recorte y para medición de tamaño, peso, contenido de agua, etc.).
35.	Determinación de Laboratorio de la Permeabilidad de Suelos Granulares mediante el Método de Cabeza Constante y en Condiciones de Flujo Laminar de Agua (IS: 2720 Parte XXXVI	Permeámetro, Tanque de filtro de cabeza constante, Embudos grandes, Equipamiento para compactación de muestras, Bomba de vacío o aspiradora de grifo de agua, Balanza, Cucharón, Termómetros, Reloj con segundero, Cilindro graduado, Bandeja de mezcla.

Sl. No.	Prueba con Código de Práctica Relevante	Aparato/Equipo
36.	Determinación del Valor de Equivalencia de Arena en Suelos y Agregados Finos (IS: 2720 Parte XXXVII)	Cilindro graduado, Tubo irrigador, Conjunto de sifón, Conjunto de pie ponderado, Lata de medición, Tamiz, Embudo, Botellas, Bandeja plana, Dispositivo de temporización, Tamizador de equivalente de arena (operado mecánica o manualmente).
37.	Prueba de Control de Compactación (Método Hilf) (IS: 2720 Parte XXXVIII)	Molde metálico cilíndrico, pisón metálico, base rígida, balanza, aparato para determinación de contenido de agua, tamices, espátula, regla de acero, aparatos varios de mezclado (bandeja o recipiente, cuchara, cucharón, llanas, rociador de agua, etc.), regla, recipientes herméticos, extrusor de muestras.
38.	Prueba de Corte Directo para Suelos que Contienen Grava (Prueba de Laboratorio) (IS: 2720 Parte XXXIX/ Sección 1)	Caja de corte, recipiente para caja de corte, placas de agarre, placas superior e inferior, placa base, placa de carga, dispositivo de carga, pesos (si es necesario), anillo de comprobación, micrómetros de esfera graduada, cronómetro, balanza.
39.	Prueba de Corte Directo para Suelos que Contienen Grava (Prueba de Corte In Situ) (IS: 2720 Parte XXXIX/ Sección 2)	Caja de corte, placa de carga superior, gato hidráulico, viga de acero laminado y durmientes de madera, rodillos, barras de referencia, balanza de resorte.
40.	Determinación del Índice de Expansión Libre de Suelos (IS: 2720 Parte XXXX)	Tamiz IS (tamaño de 425 micrones), cilindros graduados de vidrio
41.	Medición de la Presión de Hinchamiento de Suelos (IS: 2720 Parte XXXXI)	i) Método del consolidómetro: consolidómetro, indicador de esfera, reservorio de agua, cuarto de humedad, herramientas para recortar el suelo, horno, desecador, balanza, recipientes. ii) Método de volumen constante: consolidómetro, indicador de esfera, cuarto de humedad, herramientas para recortar el suelo, horno, desecador, balanza, latas para contenido de humedad, unidad de carga de capacidad de 5000 kg, anillo de comprobación altamente sensible de capacidad de 200 kg.

Sl. No.	Prueba con Código de Práctica Relevante	Aparatos/Equipos
42.	Prueba Estándar de Penetración para Suelos (IS: 2131)	Equipo de perforación, muestreador de tubo dividido, conjunto de peso para golpear, gancho de elevación, tenazas, cuerda, gato de tornillo.

15. PRUEBAS PARA ÁRIDOS

La **Tabla 37** indica las diferentes pruebas para áridos junto con el aparato necesario y los códigos BIS aplicables.

Tabla 37: Pruebas para Áridos

Sl. No.	Prueba con el Código de Prácticas Pertinentes	Aparatos/Equipos
1.	Tamaño y Forma de Partículas (IS: 2386 Parte I)	i) **Análisis por tamizado:** Tamices IS, Balanza ii) **Determinación de materiales** más finos que 75 micrones: Tamices IS, Balanza, Contenedor, Horno iii) **Determinación del índice de aplanamiento**: Tamices IS, Balanza, Calibrador metálico iv) **Determinación del índice de alargamiento**: Tamices IS, Balanza, Calibrador metálico v) **Determinación del número de angularidad:** Cilindro metálico, Varilla de compactación, Balanza, Cucharón
2.	Estimación de Materiales Perjudiciales e Impurezas Orgánicas (IS: 2386 Parte II)	i) **Determinación de terrones de arcilla:** Tamices IS, Balanza, Contenedores ii) **Determinación de arcilla, limo y polvo finos (Método de sedimentación**): Frasco de vidrio hermético con tapa de rosca, Dispositivo para rotar el frasco, Pipeta de sedimentación (tipo Andreasen), Cilindro medidor, Balanzas o básculas, Horno (bien ventilado y controlado termostáticamente) iii) **Determinación de piezas ligeras (carbón y lignito):** Balanzas, Contenedores, Espumadera, Placa caliente u horno iv) **Determinación de partículas blandas:** Varilla de latón con una dureza Rockwell de 65-75 HRB

Sl. No.	Prueba con el Código de Prácticas Pertinentes	Aparatos/Equipos
		v) Estimación de impurezas orgánicas: Botella graduada, tapón
3.	Gravedad Específica, Densidad, Vacíos, Absorción e Incremento de Volumen **(IS: 2386 Parte III)**	i) Determinación de la Gravedad Específica y Absorción de Agua: a**) Árido mayor a 10 mm:** Balanza, Horno (bien ventilado y controlado termostáticamente), Canasta de alambre o contenedor perforado, Contenedor hermético, Paños absorbentes, Bandeja poco profunda, Contenedor hermético al aire **b) Árido entre 40 mm y 10 mm: Balanza,** Horno (bien ventilado y controlado termostáticamente), Vaso o frasco de vidrio, Paños absorbentes, Bandeja poco profunda, Contenedor hermético al aire **c) Árido menor a 10 mm:** Balanza, Horno (bien ventilado y controlado termostáticamente), Vaso de vidrio, Dispositivo para suministrar una corriente de aire cálido (como un secador de pelo), Bandeja poco profunda, Contenedor hermético al aire, Papeles de filtro y embudo ii) **Determinación de la Densidad a Granel y Vacíos:** Balanza, Medida metálica cilíndrica, Varilla compactadora iii) **Determinación del Ajuste Necesario por Hincharse del Árido Fino (Método de Campo):** Contenedores, Regla de acero, Varilla de acero, Cilindro medidor iv**) Determinación de la Humedad Superficial en Áridos Finos (Método de Campo):** Balanza, Matraz

Sl. No.	Test with Relevant Code of Practice	Apparatus/Equipment
4.	Propiedades Mecánicas **(IS: 2386 Parte IV o IS: 5640 (para el valor de impacto del árido))**	**i) Determinación del Valor de Trituración del Árido:** Cilindro de acero abierto con émbolo y placa base, varilla de compactación metálica recta, balanza, tamices IS, máquina de ensayo de compresión, medida metálica cilíndrica ii**) Determinación del Valor del 10 por ciento de Finos:** Cilindro de acero abierto con émbolo y placa base, varilla de compactación metálica recta, balanza, tamices IS, máquina de ensayo de compresión, medida metálica cilíndrica, indicador de dial iii) **Determinación del Valor de Impacto del Árido:** Máquina de ensayo de impacto, tamices IS, medida metálica cilíndrica, varilla de compactación metálica recta, balanza, horno (bien ventilado y controlado termostáticamente) iv) **Determinación del Valor de Abrasión del Árido**: Máquina de Los Ángeles o Máquina Deval (con tamiz IS de tamaño 1.70 mm) v) **Determinación del Valor de Piedra Pulida:** Máquina de Pulido Acelerado, Probador de Fricción, Tamices IS vi**) Determinación de la Resistencia a la Trituración:** Máquina de Ensayo de Compresión, Horno (bien ventilado y controlado termostáticamente)
5.	Estabilidad (**IS: 2386 Parte V)**	Tamices IS, Contenedores, Medios adecuados para regulación de temperatura, Balanzas, Horno de secado
6.	Medición de las Propiedades para la Elaboración de Mortero de Agregados Finos **(IS:2386 Parte VI)**	Mesa de flujo y molde de flujo, barra de compactación, llana, moldes, varilla de compactación, máquina de ensayo

Sl. No.	Prueba con el Código de Práctica Relevante.	Aparatos/Equipos
7.	Reactividad álcalina **(IS:2386 Part VII)**	**i) Determinación de la Reactividad Alcalina Potencial de Combinaciones Cemento-Árido (Método de Barras de Mortero):** Balanzas, Pesas, Tamices IS, Graduados de Vidrio, Moldes de Especímenes, Recipiente de Mezcla, Compactador, Paleta, Contenedores Cubiertos, Comparador de Longitud **ii) Determinación de la Reactividad Potencial de Áridos (Método Químico):** Balanzas, Pesas, Balanzas, Equipos de Trituración y Molienda, Tamices IS, Recipientes de Reacción, Baño de Temperatura Constante, Fotómetro, Material de Vidrio
8.	Examen petrográfico **(IS:2386 Part VIII)**	**i) Método-I (con fines rutinarios):** Pantallas conforme a las designaciones del tamiz IS, balanza, yunque y martillo, lupa de mano, microscopio estereoscópico, microscopio petrográfico, equipo auxiliar para un examen petrográfico adecuado e identificación de rocas y minerales. **ii) Método-II (para investigaciones detalladas):** Sierra de corte de rocas, Rueda de rectificado horizontal, Rueda de pulido, Pico de prospector, Portaobjetos de microscopio, Medio de montaje, Horno de laboratorio, Cuadrados de vidrio para placas, Muestreador Jones riffle con cazos, Cubreobjetos de microscopio, Microscopio de luz polarizada, Lámparas de microscopio, Microscopio estereoscópico, Imán, Portaagujas y puntas, Frasco cuentagotas, Pinzas, Platos de cultivo Petri, Papel para lentes, Medios de inmersión, Contador, Cámara fotomicrográfica y accesorios.

Sl. No.	Prueba con el Código de Práctica Relevante.	Aparatos/Equipos
9.	Determinación del valor equivalente de arena de suelos y agregados finos **(IS: 2720 Part XXXVII)**	Cilindro graduado, tubo irrigador, conjunto de sifón, conjunto de pie con peso, lata medidora, tamiz, embudo, botellas, bandeja plana, dispositivo de sincronización, agitador equivalente a arena (mecánico o manual)
10.	Determinación del Valor de Desprendimiento de Áridos para Carreteras. **(IS:6241)**	Vaso de vidrio resistente al calor, tamices IS (tamaños de 20 mm y 12.5 mm), mezclador, balanza, baño de agua preferiblemente con termostato.

16. PRUEBAS PARA BETÚN

Tabla 38 indica las diversas pruebas para el betún junto con el aparato necesario y los códigos correspondientes de la BIS (Bureau of Indian Standards).

Tabla 38: Pruebas para betún

Sl. No.	Prueba con el Código de Práctica Relevante.	Aparatos/Equipos
1.	Determinación de la Densidad Específica. **(IS:1202)**	i) **Método del Picnómetro:** Botellas de Densidad Específica, Baño de Temperatura Constante, Termómetro de Baño. ii) **Método de la Balanza:** Balanza Analítica, Termómetro, Soporte de Balanza, Hilo, Moldes de Latón.
2.	Determinación de la Penetración. **(IS:1203)**	Recipiente, Aguja, Baño de Agua, Plato de Transferencia, Aparato de Penetración, Termómetro, Dispositivo de Cronometraje.
3.	Determinación del Residuo de la Penetración Especificada. **(IS:1204)**	Recipiente, Baño Calefactor, Termómetro Caliente, Aguja, Aparato de Penetración en Agua, Placa, Baño.
4.	Determinación del Punto de Ablandamiento. **(IS:1205)**	Aparato de Anillo y Bola con bolas de acero, anillos de latón, guía de bola, soporte, termómetro, baño y agitador.
5.	Determinación de la Viscosidad Industrial. **(IS:1206 Part I)**	Viscosímetro de alquitrán con copa, válvula, baño de agua, manga, agitador, protector curvado, receptor, termómetros.

Sl. No.	Prueba con el Código de Práctica Relevante.	Aparatos/Equipos
6.	Determinación de la Viscosidad Absoluta **(IS:1206 Part II)**	Viscosímetros, Termómetro, Baño, Sistema de Vacío, Dispositivo de Cronometraje.
7.	Determinación de Kinematic Viscosity **(IS:1206 Part III)**	Viscosímetros, Termómetros, Baño, Dispositivo de Cronometraje.
8.	Determinación de la Temperatura Equiviscosa (EVT) **(IS:1207)**	Viscométrico de alquitrán con copa, válvula, baño de agua, manga, agitador, protector curvado, receptor, termómetros
9.	Determinación de la Ductilidad **(IS:1208)**	Molde de Latón, Baño de Agua, Máquina de Ensayo, Termómetro.
10.	Determinación del Punto de Inflamación y Punto de Incendio **(IS:1209)**	Probador Cerrado Pensky-Martens con copa, tapa, dispositivo de atuendo, cubierta adecuada, obturador, dispositivo de exposición a la llama, estufa, placa superior, termómetros.
11.	Prueba de Flotación **(IS:1210)**	Flotador, Collar, Termómetro, Baño de Agua.
12.	Determinación del Contenido de Agua **(IS:1211)**	Matraz, Condensador, Receptor, Cilindro Graduado, Calentador.
13.	Determinación de la Pérdida por Calentamiento **(IS:1212)**	Horno, Estante de Metal Perforado, Termómetro, Contenedor.
14.	Prueba de Destilación **(IS:1213)**	Matraz de Destilación, Termómetro, Condensador de Agua, Adaptador, Protector, Receptores Crow, Contenedor de Residuos.
15.	Determinación de la Solubilidad en Carbono Disulfuro o Tricloroetileno **(IS:1216)**	Cápsula Gooch, Matraz Cónico de Vidrio.
16.	Determinación del Punto de Inflamación y Punto de Incendio (Método Cleveland Open Cup) **(IS:1448 Part 69)**	Aparato Cleveland Open Cup, Protector, Termómetro, Barómetro.

Sl. No.	Prueba con el Código de Práctica Relevante.	Aparatos/Equipos
17.	Prueba de Viscosidad (utilizando el Viscosímetro Saybolt Furol) **(IS:3117)**	Tubo de Aceite, Baño con Dispositivo de Agitación, Receptor de Vidrio, Termómetros de Tubo de Aceite, Dispositivo de Cronometraje, Tubo de Extracción o Pipeta.
18.	Determinación del Contenido de Asfalto **(IS:3117)**	Vasos de Vidrio, Varillas de Vidrio, Balanza, Horno.
19.	Prueba de Asentamiento **(IS:3117)**	Cilindros Graduados, Pipeta de Vidrio.
20.	Prueba de Desemulsionabilidad **(IS:3117)**	Tamiz IS de Tela Metálica de Hierro, Vasos Metálicos, Varillas Metálicas, Bureta de Vidrio.
21.	Miscibilidad en Agua **(IS:3117)**	Cilindro Graduado, Vaso de Vidrio, Varilla de Vidrio.
22.	Miscibilidad Modificada en Agua **(IS:3117)**	Cilindro Graduado, Vaso de Vidrio, Tubo de Vidrio, Tira de Soporte, Varilla de Vidrio, Crisoles, Horno (de temperatura constante), Balanza.
23.	Prueba de Mezcla de Cemento **(IS:3117)**	Tamices IS, Plato de Fondo Redondo o Cacerola de Cocina, Varilla de Agitación, Cilindro Graduado.
24.	Capacidad de Recubrimiento y Resistencia al Agua **(IS:3117)**	Tamices IS, Espátula de Acero, Plato de Fondo Redondo o Cacerola de Cocina, Balanza.
25.	Prueba de Tamizado **(IS:3117)**	Tamiz IS de tamaño 850 micrones, Bandeja Metálica Shallow o Tapa de Caja de Hojalata.
26.	Prueba de Carga de Partículas **(IS:3117)**	Batería, Reóstato, Amperímetro, Placas de Cobre, Contenedor de Vidrio.
27.	Determinación de las Características Espumantes (Vida Media, Relación de Expansión) del Asfalto Caliente	Aparato para producir asfalto espumado, Contenedores Metálicos, Varilla de Medición, Temporizador, Balanza, Guantes Resistentes al Calor, Gafas de Seguridad.

17. PRUEBAS PARA CEMENTO Y HORMIGÓN

Tabla 39 indica las diversas pruebas para cemento y hormigón junto con el aparato necesario y los códigos correspondientes de la BIS (Bureau of Indian Standards).

Tabla 39: Pruebas para Cemento y Hormigónes

Sl. No.	Prueba con el Código de Práctica Relevante.	Aparatos/Equipos
1.	Determinación de la Fineza por Tamizado en Seco **(IS:4031 Part 1)**	Tamiz de Prueba, Balanza, Cepillo.
2.	Determinación de la Fineza por el Método de Permeabilidad al Aire de Blaine **(IS:4031 Part 2)**	Aparato de Permeabilidad al Aire tipo Flujo Variable (tipo Blaine), Temporizador, Balanzas, Pesas Estándar, Picnómetro, Manómetro, Discos Circulares de Papel de Filtro.
3.	Determinación de la Estabilidad **(IS:4031 Part 3)**	i) **Método Le Chatelier:** Aparato de Prueba de Estabilidad (Le Chatelier), Balanza, Pesas, Baño de Agua. ii) **Método de Autoclave:** Balanza, Pesas, Cilindros Graduados de Vidrio, Moldes, Autoclave con caldera de vapor a alta presión y dispositivo de seguridad adecuado, Comparador de Longitud.
4.	Determinación de la Consistencia de la Pasta de Cemento Estándar **(IS:4031 Part 4)**	Aparato Vicat, Balanza, Pesas Estándar, Paleta de Amasar.
5.	Determinación de los Tiempos de Fraguado Inicial y Final **(IS:4031 Part 5)**	Aparato Vicat, Balanza, Pesas Estándar, Paleta de Amasar.
6.	Determinación de la Resistencia a la Compresión del Cemento Hidráulico Distinto del Cemento de Albañilería **(IS:4031 Part 6)**	Máquina de Vibración, Varilla de Agitación, Molde para Cubos, Paleta de Amasar, Balanza, Pesas Estándar, Cilindros Graduados de Vidrio.

Sl. No.	Prueba con el Código de Práctica Relevante.	Aparatos/Equipos
7.	Determinación de la Resistencia a la Compresión del Cemento de Albañilería **(IS:4031 Part 7)**	Balanza, Pesas Estándar, Moldes para Cubos, Mezcladora Planetaria, Mesa de Flujo y accesorios, Varilla Compactadora.
8.	Determinación de la Resistencia Transversal y a la Compresión del Mortero Plástico utilizando Prismas **(IS:4031 Part 8)**	Balanza, Pesas Estándar, Mezcladora Planetaria, Moldes, Aparato de Compactación por Golpeteo, Espátula, Dispositivo de Desmoldeo.
9.	Determinación del Calor de Hidratación **(IS:4031 Part 9)**	Calorímetro, Mortero y Mortero, Viales de Vidrio/Plástico, Cronómetro o Temporizador, Tamices IS, Mufla, Balanza Analítica, Pesas Estándar, Botellas de Pesaje, Cepillo de Pelo de Camello.
10.	Determinación de la Contracción por Secado (**IS:4031 Part 10)**	Balanza, Pesas, Paleta de Albañil, Comparador de Longitud, Mesa de Flujo y accesorios, Molde, Gabinete de Control.
11.	Determinación de la Densidad **(IS:4031 Part 11)**	Matraz Le Chatelier Estándar, Balanza Analítica, Pesas Estándar, Baño de Agua a Temperatura Constante.
12.	Determinación del Contenido de Aire en el Mortero de Cemento Hidráulico **(IS:4031 Part 12)**	Medida de Cilindro, Balanza, Pesas Estándar, Mezcladora Planetaria, Mesa de Flujo y Accesorios, Varilla Compactadora.
13.	Medición de la Retentividad de Agua del Cemento de Albañilería **(IS:4031 Part 13)**	Conjunto de Aparatos para la Prueba de Retención de Agua, Balanza, Pesas Estándar, Mezcladora Planetaria, Mesa de Flujo y Accesorios, Varilla Compactadora.
14.	Determinación del Falso Fraguado **(IS:4031 Part 14)**	Aparato Vicat, Balanza, Pesas, Paleta de Amasar, Cilindros Graduados de Vidrio, Tablero de Mezclado.
15.	Determinación de la Fineza por Tamizado en Húmedo **(IS:4031 Part 15)**	Tamiz IS (tamaño de 45 micrones), Boquilla de Pulverización, Manómetro, Balanza, Pesas Estándar, Horno.

18. EQUIPO ESENCIAL PARA EL LABORATORIO CENTRAL

Se presenta a continuación una lista de equipos esenciales que deben mantenerse en un Laboratorio Central.

18.1 Soil Testing Equipment

i) Balanzas de Pesaje
   a) Capacidad electrónica de 5-20 kg - Precisión de 1 gramo
   b) Capacidad electrónica de 500 gramos - Precisión de 0.01 gramo
   c) Capacidad electrónica de 5 kg - Precisión de 0.5 gramo
   d) Balanza química de capacidad de 100 gramos - Precisión de 0.001 gramo

ii) Horno - eléctricamente operado, controlado termostáticamente (incluyendo termómetro), interior de acero inoxidable de 0°C a 220°C

iii) Cribas IS: diámetro interno de 200 mm (marco de latón y malla de alambre de acero o latón) que consisten en juegos de tamices de tamaños requeridos completos con tapa.

iv) Tamizador capaz de agitar tamices de diámetro de 200 mm - eléctricamente operado con interruptor de tiempo

v) Cronómetros - Precisión de 1/5 segundo

vi) Material de vidrio: matraces de compresión, pipetas, platos, cilindros medidores (100 a 1000 cc)

vii) Bandejas de esmalte
   a) 600 mm x 450 mm x 50 mm
   b) 450 mm x 300 mm x 40 mm
   c) 300 mm x 250 mm x 40 mm

viii) Aparato de Límite Líquido con herramientas de ranurado ASTM según IS:2720 (Parte 5)

ix) Pipetas de muestreo equipadas con entradas de presión y succión, capacidad de 10 ml

x) Aparato de Compactación (Proctor) según IS:2720 (Parte 7) completo con collar, placa base y martillo y todos los demás accesorios

xi) Aparato de Compactación Modificado AASHTO según IS:2720 (Parte 8) o compactación pesada

xii) Cilindro de vertido de arena con embudo cónico, grifo y conjunto completo conforme a IS:2720 (Parte 28), que incluye equipamiento moderno.

xiii) Arena estándar de Ennore

xiv) Recipientes para muestreo con tapas de 100 mm de diámetro x 75 mm de altura, capacidad de ½ kg y elementos varios como recipientes para humedad con tapa de 50 g, etc.

xv) Equipo de laboratorio para ensayos de CBR para la realización de ensayos de CBR, marco de carga con capacidad de 5 toneladas, operado eléctricamente con control de velocidad según IS:2720 (Parte 16) y que consta de lo siguiente:

a) Moldes CBR de 150 mm de diámetro y 175 mm de altura

b) Trípodes para sostener el indicador de esfera

c) Pistón CBR con indicador de asentamiento

d) Peso de sobrecarga de 147 mm de diámetro, peso de 2.5 kg, discos espaciadores de 148 mm de diámetro y 47.7 mm de altura con mango

e) Placa perforada (bronce)

f) Tanque de remojo para acomodar los moldes CBR

g) Anillos probadores con capacidades de 10 kN, 20 kN, 25 kN y 30 kN

xvi) Equipo para ensayo de penetración dinámica con cono

xvii) Medidor nuclear de humedad y densidad o equivalente

xviii) Medidor de humedad rápido completo con productos químicos

xix) Caja de rifles

xx) Índice diferencial de hinchamiento libre según IS:2720 (Parte 40)

18.2 Equipo de Pruebas de Agregados

i) Tamices según la norma IS:460

a) Tamices IS de tamaños requeridos (diámetro interno de 450 mm) conjuntos según BIS, completos con tapa y bandeja.

b) Tamiz IS de diámetro interno de 200 mm (marco de latón y malla de alambre de acero/latón) que consta de conjuntos de tamaños de tamiz requeridos completos con tapa.

ii) Tamizador capaz de agitar tamices de diámetros de 200 mm, 300 mm y 450 mm, operado eléctricamente con temporizador.

iii) Bandejas de esmalte

a) 600 mm x 450 mm x 50 mm

b) 450 mm x 300 mm x 40 mm

c) 300 mm x 250 mm x 40 mm

d) Placas circulares de 250 mm de diámetro

iv) Aparato de Prueba de Impacto de Agregado según IS:2386 (Parte 4)

v) Aparato de Prueba de Abrasión Los Ángeles según IS:2386 (Parte 4)

vi) Aparato para la determinación de la gravedad específica de agregados finos y gruesos según IS:2386 (Parte 3)

vii) Cilindro de 0.5 pies cúbicos, 1 pie cúbico para verificar la densidad aparente de los agregados con varilla de compactación.

18.3 Equipos de Pruebas de Cemento y Concreto

i) Vibrador de alta frecuencia para cubos de mortero en pruebas de cemento

a) Moldes para mortero de cemento (70.6 mm de ancho x 70.6 mm de largo x 70.6 mm de altura)

ii) Aparato de aguja de Vicat para tiempo de fraguado con pistones según IS:269

iii) Aparato de prueba de solidez para cemento (Le Chatelier)

iv) Balanzas de pesaje

a) Balanza electrónica con capacidad de 5-20 kg - precisión de 1 gramo

b) Balanza electrónica con capacidad de 500 gramos - precisión de 0.01 gramo

c) Balanza electrónica con capacidad de 5 kg - precisión de 0.5 gramos

d) Balanza electrónica con capacidad de 50 kg - precisión de 2 gramos

v) Mezcladora de concreto con motor, capacidad de 1 pie cúbico

vi) Moldes

a) Cilindro de 150 mm de diámetro x 300 mm de altura con componente de tapado junto con el juego de tapado

b) Cubos de 150 mm y 100 mm (cada tamaño)

vii) Aparato para ensayo de asentamiento

viii) Mesa vibratoria de frecuencia y amplitud variable de tamaño 1 m x 1 m según la norma británica relevante

ix) Máquina de ensayo de resistencia a la compresión y flexión con capacidad de 200 toneladas con ensayo adicional de flexión con dial

x) Máquina de corte de núcleos con borde de corte de diamante de 10 cm de diámetro

18.4 Equipo de Pruebas de Betún

i) Baño de temperatura constante para alojar especímenes de prueba de betún, operado eléctricamente y controlado termostáticamente (para alojar un mínimo de seis especímenes)

ii) Penetrómetro tipo automático, que incluye disposición de peso ajustable y agujas según IS:1203

iii) Mezclador de laboratorio para betún que incluye accesorios necesarios (20 litros)

iv) Medidor de ductilidad

v) Viscometro Furol

vi) Aparato de prueba de punto de reblandecimiento (aparato de anillo y bola)

vii) Termómetro digital

viii) Caja de rifles

ix) Aparato de prueba de horno de película delgada para ligantes modificados ya sea con PMB o CRMB

x) Equipo de prueba de dureza para asfalto mástico

xi) Aparato de prueba de equivalente de arena

xii) Termómetros

xiii) Cocina de gas y cilindro

xiv) Aparato de extracción Soxhlet o tipo centrífuga completo con dedales de extracción con solvente y papel de filtro

xv) Material de vidrio que incluye vasos de compresión, pipetas, platos, cilindros medidores (de 100 a 1000 cc) y

termómetros metálicos con rango hasta 300°C

xvi) Placas calefactoras de 200 mm de diámetro (1500 vatios)

xvii) Horno - operado eléctricamente, controlado termostáticamente (incluido termómetro), interior de acero inoxidable de 0°C a 220°C

xviii) Aparato de compactación Marshall, operado automáticamente según ASTM 1559-62 toneladas completo con accesorios (con moldes Marshall de 180 N)

xix) Máquina de corte de núcleos adecuada para núcleos de hasta 150 mm de diámetro

xx) Horno – operado eléctricamente, controlado termostáticamente (incluido termómetro), interior de acero inoxidable de 0°C a 220°C

xxi) Aparato de compactación Marshall, operado automáticamente según ASTM 1559-62 toneladas completo con accesorios (con moldes Marshall de 180 N)

xxii) Máquina cortadora de núcleos adecuada para hasta 150 mm. núcleo de diámetro

18.5 Equipo de prueba del subsuelo

i) Determinación de las propiedades de resistencia al corte mediante la realización de la Prueba de Corte Directo (anillos de prueba con capacidad de 2 kN y 2.5 kN)

ii) Balanzas de Pesaje

a) Tipo electrónico con capacidad de 5 kg - precisión de 0.5 gramos

b) Tipo electrónico con capacidad de 500 gramos - precisión de 0.01 gramos

iii) Horno - operado eléctricamente, controlado termostáticamente (incluido termómetro), interior de acero inoxidable de 0°C a 220°C

iv) Tamices según IS:460 - Tamiz interno de 200 mm de diámetro (marco de latón y malla de alambre de acero/latón) que consta de juegos de tamices de tamaños requeridos completos con tapa y bandeja

v) Dispositivo de Límite Líquido con herramientas de ranurado ASTM según IS:2720 (Parte 5)

vi) Pipetas de muestreo equipadas con entradas de presión y succión, capacidad de 10 ml

vii) Latas de muestreo con tapas (diámetro de 100 mm x altura de 75 mm) con capacidad de 500 gramos y elementos diversos como latas de humedad con tapa de 50 gramos, etc.

19. EQUIPO ESENCIAL PARA EL LABORATORIO DE PLANTA/SITIO

A continuación, se presenta una lista de equipos esenciales que deben mantenerse en un Laboratorio de Planta/Sitio.

19.1 Planta de Mezcla en Húmedo

i) Tamices según IS:460

a) Tamices IS de tamaños requeridos (diámetro interno de 450 mm) conjuntos según BIS completos con tapa y bandeja

b) Tamices IS de diámetro interno de 200 mm (marco de latón y malla de alambre de acero/latón) que constan de juegos de tamices de tamaños requeridos completos con tapa y bandeja.

ii) Tamizadora capaz de agitar tamices de diámetro de 200 mm y 450 mm - operada eléctricamente con interruptor de tiempo.

iii) Aparato para ensayar el Valor de Impacto del Agregado (AIV), Solidez, Valor de Trituración, Índice de Fragilidad y Alargamiento, Valor de Piedra Pulida.

19.2 Planta de mezcla en Caliente

i) Tamices según per IS:460

a) Tamices de 450 mm de diámetro interno según las normas del BIS en conjuntos completos con tapa y bandeja.

b) Tamiz de 200 mm de diámetro interno (marco de latón y malla de alambre de acero/latón) que consta de conjuntos de tamices de los tamaños requeridos completos con tapa.

ii) Tamizadora capaz de agitar tamices de 200 mm y 450 mm de diámetro, operada eléctricamente con temporizador.

iii) Aparato para ensayos de Valor de Impacto del Agregado (AIV), Durabilidad, Valor de Trituración,

Índice de Aplanamiento y Alargamiento, Valor de Piedra Pulida.

iv) Horno eléctrico, controlado termostáticamente (con termómetro), interior de acero inoxidable de 0°C a 220°C.

v) Baño de temperatura constante para acomodar especímenes de prueba de betún, operado eléctricamente y controlado termostáticamente (para acomodar un mínimo de seis especímenes).

vi) Penetrómetro automático, incluyendo disposición de peso ajustable y agujas según la norma IS:1203.

vii) Viscosímetro Furol.

viii) Aparato para el Punto de Ablandamiento (Aparato de Anillo y Bola).

ix) Termómetro de lectura a distancia.

x) Aparato para la Prueba de Dureza de Asfalto Mástico.

xi) Aparato para la Prueba de Equivalente de Arena.

xii) Termómetros.

xiii) Cocina de gas y cilindro.

xiv) Aparato de extracción tipo Soxhlet o centrífugo completo con dedales de extracción con solvente y papel filtro.

xv) Material de vidrio que incluye vasos de compresión, pipetas, platos, cilindros medidores (de 100 a 1000 cc) y termómetros metálicos de hasta 300°C.

xvi) Placas calefactoras de 200 mm de diámetro (1500 vatios).

xvii) Horno eléctrico, controlado termostáticamente (incluyendo termómetro), interior de acero inoxidable de 0°C a 220°C.

19.3 Planta dosificadora de concreto

i) Vibrador de cubos de mortero de alta frecuencia para pruebas de cemento

a) Moldes de mortero de cemento (70.6 mm de

ancho x 70.6 mm de largo x 70.6 mm de alto)

ii) Aparato de prueba de solidez para cemento (Le Chatelier)

iii) Aparato de ensayo de solidez para cemento (Le Chatelier)

iv) Balanzas de pesaje

a) Tipo electrónico con capacidad de 5 a 20 kg - precisión de 1 gramo

b) Tipo electrónico con capacidad de 500 gramos - precisión de 0.01 gramo

c) Tipo electrónico con capacidad de 5 kg - precisión de 0.5 gramo

d) Tipo electrónico con capacidad de 50 kg - precisión de 2 gramos

v) Moldes

a) Cilindro de 150 mm de diámetro x 300 mm de altura con componente de tapado junto con el juego de tapado

b) Cubos de 150 mm y 100 mm (cada tamaño)

vi) Aparato para la prueba de asentamiento

vii) Mesa vibratoria de frecuencia y amplitud variable de tamaño 1 m x 1 m

viii) 1 mx 1 m según la Norma Británica correspondiente Máquina de ensayo de resistencia a la compresión y flexión con capacidad de 200 toneladas con ensayo de flexión adicional mediante dial.

20. INVENTARIO DE CONSUMIBLES PARA LABORATORIO

20.1 **Pruebas de suelo**
Agua destilada, papel de filtro, Hexa metafosfato de sodio, carbonato de sodio, queroseno.

20.2 **Pruebas de agregados**
Sulfato de sodio, sulfato de magnesio.

20.3 **Pruebas de cemento**
Cemento, aditivos, agua destilada.

20.4 **Pruebas de betún**
Benceno, cilindro de gas, papel de filtro. 20.5 Pruebas de concreto N/A.

20.5 **Pruebas de concreto**
N/A

20.6 **Pruebas de subsuelo**
Agua destilada, papel de filtro, hexametafosfato de sodio, carbonato de sodio, queroseno

PART E: EQUIPAMIENTO PARA MANEJO DE DESASTRES

21. EQUIPO ESENCIAL PARA TRABAJOS DERESTAURACIÓN EN GESTIÓN DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA

El mecanismo institucional para el manejo de desastres a nivel Central, Estatal y de Distrito es asegurar que los Estados manejen los desastres de manera efectiva. Cada Estado debe elaborar un programa con plazos definidos con las autoridades del distrito para actualizar el inventario de equipamiento como parte de las medidas de fortalecimiento de capacidades requeridas según la **Sección 31(3)(c)** de la Ley de Gestión de Desastres de 2005. Será obligatorio para todos los proveedores comerciales al por mayor (fabricantes, distribuidores, etc.) de recursos materiales de emergencia y para todos los permisos (empresas, contratistas, sociedades, etc.) de recursos humanos de emergencia en un distrito proporcionar información sobre la disponibilidad de dichos recursos de emergencia al Oficial Nodal de Recursos designados en el Distrito con una periodicidad no mayor a tres meses.

A continuación, se presenta el inventario de equipamiento que se debe mantener a nivel de Distrito:

21.1 Equipamiento pesado

i) Bulldozer de orugas
ii) Bulldozer de ruedas
iii) Excavadora de orugas
iv) Excavadora de ruedas
v) Retroexcavadora
vi) Cargadora compacta de dirección deslizante
vii) Grúa hidráulica
viii) Vehículo de recuperación
ix) Plataforma aérea (móvil)
x) Plataforma elevadora (móvil)
xi) Compresor de aire
xii) Montacargas
xiii) Volquetes
xiv) Camión volquete

21.2 Herramientas eléctricas

i) Taladro de roca
ii) Martillo neumático 272
iii) Cortadoras
iv) Cortadores de pernos
v) Cortador hidráulico

vi) Cincel neumático
vii) Sierra circular con placa de diamante
viii) Taladro eléctrico
ix) Disco de corte con hoja de diamante
x) Martillo picador

21.3 Equipamiento de iluminación

i) Torre de iluminación inflable
ii) Lámpara de búsqueda comando
iii) Lámpara de trabajo con cable de 50 m

21.4 Herramientas manuales

i) Alicates
ii) Mordazas de sujeción
iii) Cincel
iv) Juego de destornilladores
v) Sierra
vi) Martillo
vii) Pala
viii) Hacha)
ix) Equipo BA (Respiración autónoma)
x) Palanca de uñas

21.5 Artículos de utilidad diversos

i) Kit de Gestión de Desastres
ii) Lona
iii) Cubo
iv) Cuerda
v) Tubo de acero

21.6 Kit Individual

i) Chaquetas reflectantes impermeables 273
ii) Cascos de seguridad
iii) Botas con puntera de acero resistente
iv) Linternas de seguridad
v) Botellas de agua (livianas con portador protector)

21.7 Equipamiento de protección personal

i) Traje de PVC
ii) Guantes de trabajo resistentes
iii) Protector facial
iv) Gafas de seguridad
v) Luz frontal
vi) Mascarilla nasal
vii) Mascarilla contra el polvo

viii) Tapones para los oídos

ix) Almohadilla de protección para rodillas

21.8 Equipamiento de radio y comunicación

i) Set de walkie talkie

ii) Teléfonos satelitales

iii) Set de radio portátil 21.

21.9 Puentes Temporales Ligeros

i) Puentes Bailey

ii) Puentes Hamilton

iii) Puentes Modulares

iv) Puentes Atirantados (Clase 9)

v) Puentes de Aluminio Portátiles desarrollados por DRDO

vi) Puentes Flotantes

21.10 Recursos Humanos Especializados

i) Operadores para diferentes tipos de Equipos

ii) Especialistas en montaje para Puentes Bailey

Como medida de preparación para desastres, se ha decidido que el inventario de todo el equipo mencionado anteriormente a nivel estatal, incluyendo los puentes Bailey, esté disponible con las Carreteras Fronterizas.

(BRO) para la gestión de desastres y que sean capaces de desempeñar funciones de apoyo de emergencia, debe ponerse a disposición del Ministerio de Transporte por Carretera y Carreteras. El inventario debe incluir todos los equipos, propiedad tanto del Gobierno como del sector privado, junto con su ubicación identificada, para que puedan mantenerse listos para su uso durante el desastre. También debería mantenerse una lista de todos los proveedores de equipos, de modo que dichos equipos puedan utilizarse en caso de emergencia. Es necesario impartir formación especializada a los trabajadores cualificados y a los operadores de equipos a intervalos regulares, a fin de mantenerlos preparados para su despliegue durante los desastres.

22. PUENTE BAILEY

22.1 El puente Bailey es un puente de acero portátil y prefabricado del tipo "pasante" en el que la calzada se lleva entre dos paneles/vigas de acero principales. Están diseñados según el principio de "construcción unitaria": la unidad básica es una nave de 3.048 m de longitud. Estos tramos, cuando se ensamblan entre sí, crean puentes de varias longitudes (en múltiplos de 3.048 m). Si es necesario, se

pueden proporcionar senderos peatonales en uno o ambos lados del puente.

También se pueden proporcionar rampas en ambos extremos del puente para garantizar un fácil acceso a la plataforma del puente desde la carretera de acceso. La capacidad de carga de la viga se puede aumentar añadiendo paneles adicionales a lo largo (llamado disposición de "truss") y encima de los paneles originales (llamado disposición de "piso").

Cada uno de los componentes del puente se puede transportar fácilmente en un camión o remolque al sitio, donde se ensamblan para formar el puente.

22.2 El Puente Bailey se puede clasificar según:

i) Número de cerchas y pisos que forman sus vigas principales.

ii) Tipo de tablero.

iii) Ancho de calzada.

22.3 Según el número de cerchas y pisos que forman sus vigas principales, el puente bailey puede tener cinco configuraciones diferentes (**Figura 132**):

i) Sencillo Sencillo (SS)

ii) Doble Sencillo (DS)

iii) Triple Sencillo (TS)

iv) Doble Doble (DD)

v) Triple Doble (TD)

Nota: *Primero se indica el número de cerchas, seguido del número de pisos. Por ejemplo, la configuración TD indica un puente Bailey con tres cerchas y dos pisos en cada una de las dos vigas.*

SSS es la combinación más ligera posible, mientras que TD es la más pesada.

Las diversas configuraciones indicadas anteriormente pueden reforzarse agregando refuerzos de cuerdas en la parte superior e inferior de cada armadura. La construcción reforzada se indica añadiendo la letra “R” (por ejemplo, el puente doble reforzado se indica como DSR).

La selección de una configuración adecuada (Tablas 40 a 47) para un puente Bailey depende del tramo del puente, así como de su clase de carga según IRC:6.

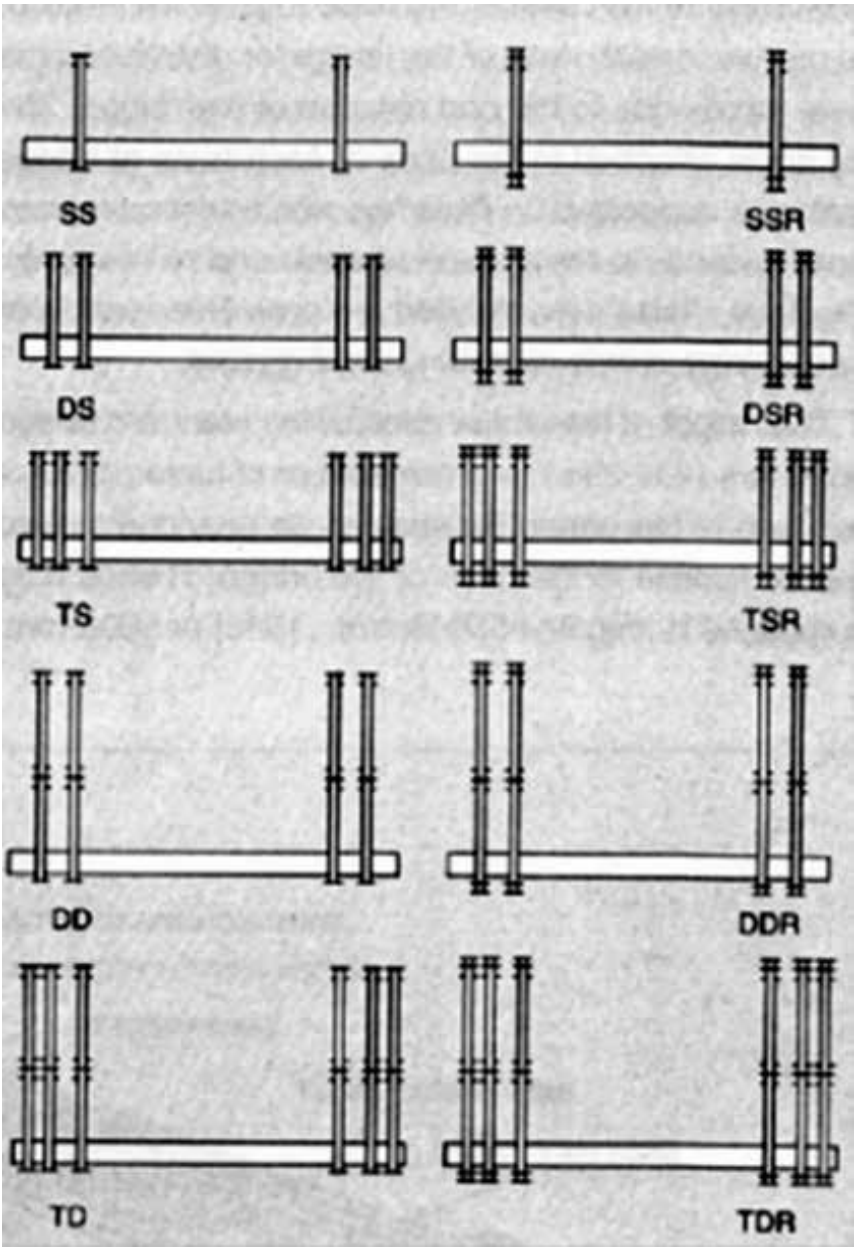


Figura 132: Configuración de cerchas y pisos del puente Bailey

Tabla 40: Construcción recomendada de puente Bailey de ancho estándar (cubierta de madera) con 2 travesaños por tramo.

SPAN (FT) **LOAD CLASS AS PER IRC: 6**		**30**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**	**100**	**110**	**120**	**130**	**140**	**150**	**160**	**170**	**180**	**190**	**200**
CLASS-9R	1	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SSR	SSR	SSR	SSR	DSR	DSR	DD	DD	DDR	DDR	DDR
	2	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SSR	SSR	SSR	SSR	TS	DSR	DSR	DD	DD	DDR	DDR	DDR
CLASS-12R	1	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SSR	SSR	SSR	SSR	SSR	DSR	DSR	DD	DD	DDR	DDR	DDR
	2	SS	SS	SS	SS	SS	SSR	SSR	SSR	SSR	TS	TS	DSR	DSR	DD	DD	DDR	DDR	DDR
CLASS-18R	1	SS	SS	SS	SS	SSR	SSR	SSR	SSR	SSR	TS	DSR	DSR	TSR	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR
	2	SS	SS	SS	SS	SSR	SSR	SSR	TS	DSR	DSR	DSR	DD	TSR	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR
CLASS-24R	1	SS	SS	SS	SSR	SSR	SSR	SSR	TS	TS	TS	DSR	DSR	TSR	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR
	2	SS	SS	SS	SSR	SSR	SSR	TS	TS	DSR	DSR	DD	DD	TSR	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR
CLASS-B	1	SS	SS	SS	SS	SSR	SSR	SSR	TS	TS	TS	DSR	DD	TSR	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR
	2	SS	SS	SS	SS	SSR	SSR	TS	DSR	DD	DD	DD	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR

Note: 1. Puente Temporal 2. Puente Semipermanente

Tabla 41: Construcción recomendada de puente Bailey extra ancho (cubierta de madera) con 2 travesaños por tramo

SPAN (FT) **LOAD CLASS AS PER IRC: 6**		**30**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**	**100**	**110**	**120**	**130**	**140**	**150**	**160**	**170**	**180**	**190**	**200**
CLASS-9R	1	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SSR	SSR	SSR	SSR	TS	DSR	TSR	DD	DDR	DDR	DDR	DDR
	2	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SSR	SSR	SSR	SSR	TS	DSR	TSR	DD	DDR	DDR	DDR	DDR
CLASS-12R	1	SS	SS	SS	SS	SS	SSR	SSR	SSR	SSR	TS	DSR	DSR	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR
	2	SS	SS	SS	SS	SS	SSR	SSR	SSR	SSR	TS	DSR	DSR	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR
CLASS-18R	1	SS	SS	SS	SS	SSR	SSR	SSR	SSR	TS	TS	DSR	DSR	TSR	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR
	2	SS	SS	SS	SS	SSR	SSR	SSR	TS	DSR	DSR	DSR	DD	TSR	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR
CLASS-24R	1	SS	SS	SS	SSR	DS	DS	TS	TS	DSR	DSR	DSR	TSR	TSR	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR
	2	SS	SS	SS	SSR	DS	DS	TS	TS	DSR	DSR	DD	TSR	TSR	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR
CLASS-B	1	SS	SS	SS	SS	SSR	SSR	DS	TS	DSR	DSR	DSR	TSR	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	TDR
	2	SS	SS	SS	SS	SSR	SSR	TS	DSR	DD	DD	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	TDR

Nota: 1. Puente Temporal 2. Puente Semipermanente.

Tabla 42: Construcción recomendada de puente Bailey de ancho estándar (cubierta de madera) con 4 travesaños por tramo.

SPAN (FT) / LOAD CLASS AS PER IRC: 6		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
CLASS-30R	1	DS	DS	DS	DS	DS	TS	TS	DSR	DSR	DSR	TSR	TSR	DDR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR
	2	DS	DS	DS	DS	TS	TS	DSR	DD	DD	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR
CLASS-40R	1	DS	DS	DS	DS	TS	TS	TS	DSR	DSR	TSR	TSR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	-
	2	DS	DS	DS	DS	TS	DSR	DD	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	TDR	-
CLASS-50R	1	DS	DS	DS	TS	TS	TS	DD	TSR	TSR	TSR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	-	-
	2	DS	DS	DS	TS	DSR	DD	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	-	-	-
CLASS-60R	1	DS	DS	DS	TS	TS	DD	DD	TSR	TSR	TSR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	TDR	-	-
	2	DS	DS	DS	TS	DD	DD	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	-	-	-	-
CLASS-70R	1	DS	TS	TS	TS	DD	DDR	TD	TDR	TDR	TDR	TDR	TDR	-	-	-	-	-	-
	2	DS	TS	DD	DD	DDR	TD	TDR	TDR	TDR	TDR	TDR	TDR	-	-	-	-	-	-
CLASS-A	1	DS	DS	DS	DS	DS	TS	TS	DSR	DSR	TSR	TSR	DDR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	-
	2	DS	DS	DS	DS	TS	DSR	DD	DD	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	-

Nota: 1. Puente Temporal 2. Puente Semipermanente.

Tabla 43: Construcción recomendada de puente Bailey extra ancho (cubierta de madera) con 4 travesaños por tramo

SPAN (FT) LOAD CLASS AS PER IRC: 6		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
CLASS-30R	1	DS	DS	DS	DS	DS	TS	TS	DSR	DSR	TSR	TSR	DDR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR
	2	DS	DS	DS	DS	TS	TS	DSR	DD	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR
CLASS-40R	1	DS	DS	DS	DS	TS	TS	DSR	DSR	TSR	TSR	TSR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	-	-
	2	DS	DS	DS	DS	TS	DSR	DD	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	-	-
CLASS-50R	1	DS	DS	DS	TS	TS	DD	DD	TSR	TSR	TSR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	TDR	-	-
	2	DS	DS	DS	TS	DD	DD	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	-	-	-
CLASS-60R	1	DS	DS	DS	TS	TS	DD	TSR	TSR	TSR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	-	-	-
	2	DS	DS	DS	TS	DD	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	-	-	-	-
CLASS-70R	1	TS	TS	TS	TS	DD	TD	TD	TDR	TDR	TDR	TDR	TDR	TDR	-	-	-	-	-
	2	TS	TS	TS	DD	DD	TD	TD	TDR	TDR	TDR	TDR	TDR	-	-	-	-	-	-
CLASS-A	1	DS	DS	DS	DS	DS	TS	TS	DSR	TSR	TSR	TSR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	-
	2	DS	DS	DS	DS	TS	DSR	DD	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	-

Nota: 1. Puente Temporal 2. Puente Semipermanente

Tabla 44. "Recomendaciones para la construcción de un Puente Bailey Extra-Ancho (con plataforma de madera) con 4 travesaños por tramo.

SPAN (FT) / CLASE DE CARGA SEGÚN IRC: 6		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
CLASE-30R	1	DS	DS	DS	DS	DS	TS	TS	DSR	DSR	TSR	TSR	DDR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR
	2	DS	DS	DS	DS	TS	TS	DSR	DD	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR
CLASE-40R	1	DS	DS	DS	DS	TS	TS	DSR	DSR	TSR	TSR	TSR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	-	-
	2	DS	DS	DS	DS	TS	DSR	DD	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	-	-
CLASE-50R	1	DS	DS	DS	TS	TS	DD	DD	TSR	TSR	TSR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	TDR	-	-
	2	DS	DS	DS	TS	DD	DD	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	-	-	-
CLASE-60R	1	DS	DS	DS	TS	TS	DD	TSR	TSR	TSR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	-	-	-
	2	DS	DS	DS	TS	DD	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	-	-	-	-
CLASE-70R	1	TS	TS	TS	TS	DD	TD	TD	TDR	TDR	TDR	TDR	TDR	TDR	-	-	-	-	-
	2	TS	TS	TS	DD	DD	TD	TD	TDR	TDR	TDR	TDR	TDR	-	-	-	-	-	-
CLASE-A	1	DS	DS	DS	DS	DS	TS	TS	DSR	TSR	TSR	TSR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	-
	2	DS	DS	DS	DS	TS	DSR	DD	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	-

Nota: 1. Puente Temporal 2. Puente Semipermanente.

Table 45: Construcción recomendada de un Puente Bailey Extra-Ancho (con plataforma de acero) con 2 travesaños por tramo

SPAN (FT) / CLASE DE CARGA SEGÚN IRC: 6		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
CLASE-30R	1	SS	SS	SS	DS	DS	DS	TS DSR	TS DSR	DSR	DSR	TSR	TSR	TSR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR
	2	SS	DS	DS	DS	DS	DS	DSR	DSR	DSR	DSR	TSR	TSR	TSR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR
CLASE-40R	1	DS	DS	DS	DS	DSR	DSR	DSR	DD	TSR	TSR	TSR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	TDR	-
	2	DS	DS	DS	DS	DSR	DSR	DD	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	TDR	-
CLASE-70R	1	TS	TS	TS	DD	DD	TD	TD	TDR	TDR	TDR	TDR	TDR	-	-	-	-	-	-
	2	TS	TS	TS	DD	DD	TD	TD	TDR	TDR	TDR	TDR	TDR	-	-	-	-	-	-
CLASE-A	1	DS	DS	DS	DS	DS	DSR	DSR	DSR	TSR	TSR	TSR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	TDR	-
	2	DS	DS	DS	DS	DSR	DSR	DD	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	TDR	-

Nota: 1. Puente Temporal. 2. Puente Semipermanente

Table 46: Construcción recomendada de un puente Bailey de ancho estándar (con plataforma de acero) con 4 travesaños por tramo.

SPAN (FT) CLASE DE CARGA SEGÚN IRC: 6		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
CLASE-9R	1	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SSR	SSR	SSR	SSR	DSR	DSR	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR
	2	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SSR	SSR	SSR	SSR	DSR	DSR	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR
CLASE-12R	1	SS	SS	SS	SS	SS	SSR	SSR	SSR	SSR	TS	DSR	DSR	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR
	2	SS	SS	SS	SS	SS	SSR	SSR	SSR	SSR	TS	DSR	DSR	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR
CLASE-18R	1	SS	SS	SS	SS	SSR	SSR	SSR	SSR	TS	TS	DSR	DD	TSR	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR
	2	SS	SS	SS	SS	SSR	SSR	SSR	TS	DSR	DSR	DSR	DD	TSR	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR
CLASE-24R	1	SS	SS	SS	SSR	DS	DS	TS	TS	TS	DSR	DSR	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR
	2	SS	SS	SS	SSR	DS	DS	TS	TS	DSR	DSR	DD	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR
CLASE-B	1	SS	SS	SS	SS	SSR	SSR	DS	TS	TS	DSR	DSR	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR
	2	SS	SS	SS	SS	SSR	SSR	TS	DSR	DD	DD	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR

Nota: 1. Puente Temporal. 2. Puente Semipermanente

Tabla 47: Construcción recomendada de un Puente Bailey Extra-Ancho (con plataforma de acero) con 4 travesaños por tramo.

SPAN (FT) / CLASE DE CARGA SEGÚN IRC: 6		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
CLASE-30R	1	DS	DS	DS	DS	DS	DSR	DSR	DSR	DSR	TSR	TSR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	TDR
	2	DS	DS	DS	DS	DSR	DSR	DSR	DD	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	TDR
CLASE-40R	1	DS	DS	DS	DS	DSR	DSR	DSR	DD	TSR	TSR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	-	-
	2	DS	DS	DS	DS	DSR	DSR	DD	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	-	-
CLASE-70R	1	TS	TS	TS	DD	DD	TD	TD	TDR	TDR	TDR	TDR	TDR	-	-	-	-	-	-
	2	TS	TS	TS	DD	DD	TD	TD	TDR	TDR	TDR	TDR	TDR	-	-	-	-	-	-
CLASE-A	1	DS	DS	DS	DS	DS	DSR	DSR	DSR	TSR	TSR	TSR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	-	-
	2	DS	DS	DS	DS	DSR	DSR	DD	DD	DDR	DDR	DDR	DDR	DDR	TDR	TDR	TDR	-	-

Nota: 1. Puente Temporal. 2. Puente Semipermanente

22.4 Según el tipo de plataforma, el puente Bailey puede ser de los siguientes tipos:

i) Plataforma de Madera (**Figuras 134 y 135**)

ii) Plataforma de Acero (**Figura 133**)

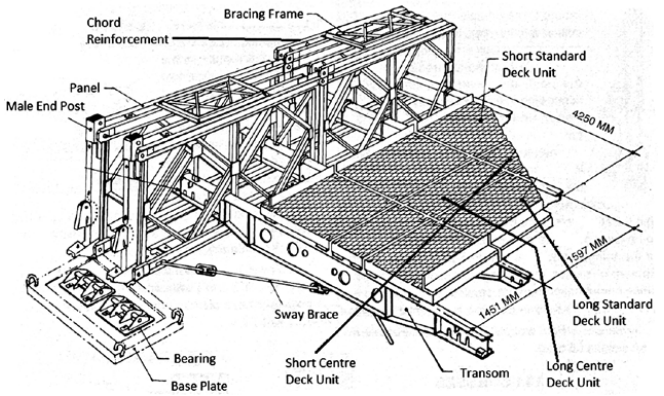


Figura 133: Puente Bailey Extra-Ancho Doble Reforzado con Plataforma de Acero

Pilar de extremo macho, Panel, Reforzamiento del cordón, Marco de arriostramiento, Unidad de cubierta estándar corta, Unidad de cubierta estándar larga, Travesaño, Unidad de cubierta central corta, Tirante diagonal, Cojinete, Placa base

22.5 Según el ancho de la carretera entre las dos vigas, el puente Bailey puede ser de los siguientes tipos:

i) **Tipo de Ancho Estándar (Figura 134)** – El ancho de la carretera es de 3.277 m para la plataforma de madera y 3.320 m para la plataforma de acero. La distancia entre los bordes internos de las cerchas internas de las vigas principales es de 3.760 m.

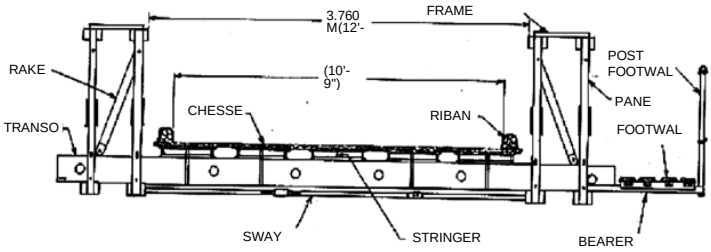


Figure 134: Puente Bailey de Ancho Estándar con Plataforma de Madera

Inclinado, Travesaño, Refuerzos, Tirantes laterales, Vigas, Cinta, Arriostramiento del marco, Pasillo del poste, Panel, Pasillo, Pasillo portador, Vigas, Tirantes laterales.

ii) **Tipo extra ancho (Figura 135)** – El ancho de la calzada es de 4.190 m para cubiertas de madera y de 4.250 m para cubiertas de acero. La distancia entre los bordes interiores de las cerchas interiores de las vigas principales es de 4.775 m.

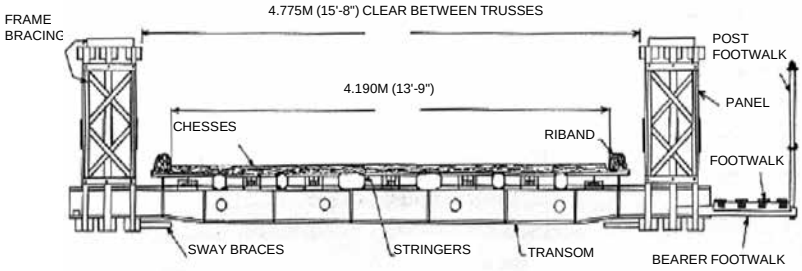


Figure 135: Puente Bailey extra ancho con cubierta de madera

Arriostramiento del marco, Espacio libre entre las cerchas, Pasarela de poste, Panel, Pasarela, Viga portadora de la pasarela, Listones, Tirantes, Atravesador, Listones, Arriostramiento lateral, Banda.

22.6 Montaje y lanzamiento: – La preparación del sitio debe realizarse en consulta con el departamento de usuarios para eliminar cualquier obstáculo, crear instalaciones para el cambio de vehículos para el movimiento, diseños de rodillos, arreglos de descarga y área para ensamblaje, lanzamiento, montaje de rampa, fabricación y movimiento de elevación al unísono, medición de espacio, condiciones del suelo, decisión del pandeo de la punta de la nariz, tipos de cerchas, parrilla, contrapesos y balanceo durante el lanzamiento.

El puente Bailey está diseñado de tal manera que se puede erigir completamente sobre rodillos en un lado del espacio que se va a puentear y luego lanzarse sin el uso de ningún soporte temporal dentro del espacio. Esto se logra mediante la construcción en la parte delantera del puente de una estructura temporal en voladizo de esqueleto, llamada "Nariz de lanzamiento", que se construye con los mismos componentes estándar que el puente. Para levantar la nariz de lanzamiento del esqueleto para facilitar el aterrizaje en la orilla lejana, se inserta un componente especial conocido como Enlace de Lanzamiento en la cuerda inferior entre dos paneles de la nariz del esqueleto. La nariz está construida de tal longitud que cuando toda la estructura se enrolla hacia adelante, la punta de la nariz aterriza en los rodillos en la orilla más alejada antes de que se alcance el punto de equilibrio.

Una vez que el puente está en posición a través del espacio, se

desmonta la nariz de lanzamiento y el puente se levanta de los rodillos y se baja sobre sus cojinetes permanentes en los estribos

Se requieren rodillos basculantes en el banco de origen y en el banco lejano en las posiciones 2 y 3 (Figura 136) y deben colocarse con precisión en el mismo plano dentro de ±3 mm. Los rodamientos/placas base también deben de manera que la diferencia entre los rodamientos/placas base del lado aguas arriba y del lado aguas abajo en cada pilar no exceda ±3 mm. El espesor de la lechada debajo de la placa base / cojinete debe ajustarse para satisfacer el requisito anterior.

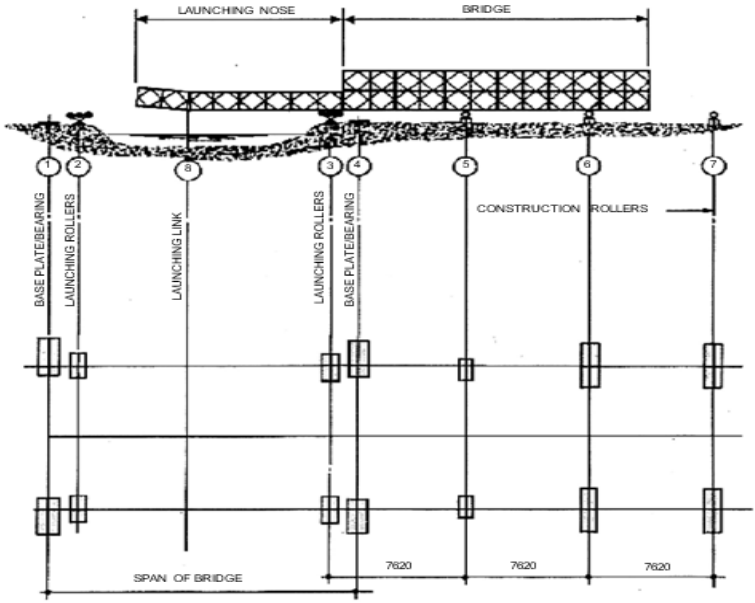


Figura 136: Montaje y lanzamiento del puente Bailey

Punta de lanzamiento, Puente, Placa base/Rodamiento, Vínculo de lanzamiento, Rodillos de lanzamiento, Rodillos de construcción, Longitud del puente.

Los pilares de cuna de paneles (**Figura 137**) hechos de cerchas con paneles colocados horizontal o verticalmente se pueden usar como soporte intermedio para puentes de patio largos. Se fabrican con los mismos componentes estándar que el puente y se pueden colocar sobre zapatas de hormigón o mampostería, rejillas de madera, etc.

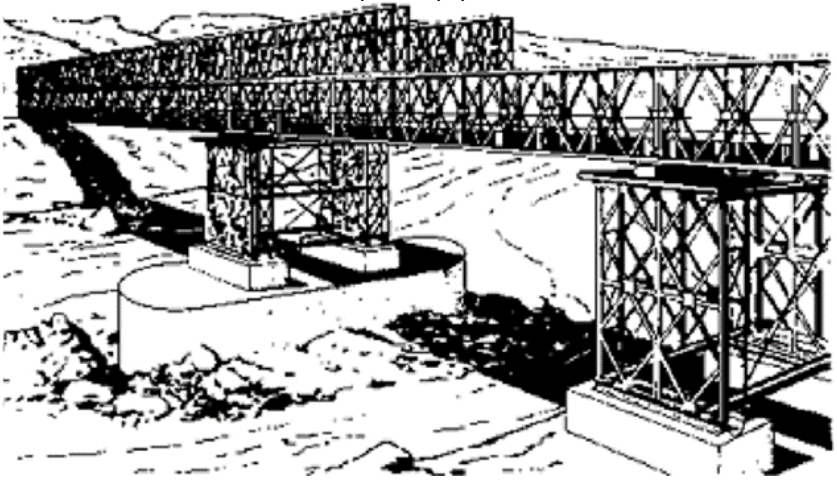


Figura 137: Puente Bailey apoyado en pilares de cuna

APPÉNDICE-I

LÍMITES DE EMISIONES Y RUIDO PARA GRUPOS ELECTRÓGENOS DIÉSEL (HASTA 800 KW)

A. Límites de emisión

Los límites de emisiones para los nuevos motores diésel (hasta 800 kW) para los grupos electrógenos fueron notificados por las Normas de Protección del Medio Ambiente (Tercera Enmienda) (véase GSR 771(E) de fecha 11.12.2013 en Sl. No. 95 y sus modificaciones GSR 232(E) de fecha 31.03.2014, GSR 789(E) de fecha 11.11.2014, GSR 105(E) de fecha 17.02.2015, GSR 54(E) de fecha 23.01.2015, en virtud de la Ley de Protección del Medio Ambiente de 1986.

En la **tabla 48** se enumeran los límites de emisiones de los motores diésel nuevos hasta 800 KW para aplicaciones de grupos electrógenos.

Table 48: Límites de emisiones para grupos electrógenos diésel de hasta 800 KW

Categoría de potencia	Límites de emisiones (gm/KW-hr)			Límite de humo (coeficiente de absorción de luz, m^{-1})
	NOx + HC	CO	PM	
Hasta 19 KW	≤ 7.5	≤ 3.5	≤ 0.3	≤ 0.7
Más de 19 KW hasta 75 KW	≤ 4.7	≤ 3.5	≤ 0.3	≤ 0.7
Más de 75 KW hasta 800 KW	≤ 4.0	≤ 3.5	≤ 0.2	≤ 0.7

B. Límites de ruido

Los límites de ruido para los grupos electrógenos que funcionan con diésel fueron notificados por las Normas de la Segunda Enmienda del Medio Ambiente (Protección) (véase GSR 371(E) de fecha 17.05.2002 en Sl. No. 94 y sus modificaciones (véase GSR 520(E) de fecha 01.07.2003, GSR 448(E) de fecha 12.07.2004, GSR 315(E) de fecha 16.05.2005, GSR 464(E) de fecha 07.08.2006, GSR 566(E) de fecha 29.08.2007 y GSR 752(E) de fecha 24.10.2008; GSR 215(E) de fecha 15.03.2011 en virtud de la Ley de Protección del Medio Ambiente de 1986.

En el caso de los nuevos equipos DG con una capacidad nominal de hasta 1000 KVA, fabricados a partir del 1 de enero de 2005, el nivel máximo de presión acústica admisible será de 75 dB(A) a 1 m de la superficie cerrada. Los conjuntos DG deben estar provistos de un recinto acústico integral.

APPÉNDICE-II

NORMAS DE EMISIONES PARA VEHÍCULOS DE EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN

Según el Gobierno de la India, Ministerio de Transporte por Carretera y Autopistas, Notificación No. En el cuadro 49 se indican los valores límite de las normas de emisión aplicables tanto a los ensayos de homologación de tipo (AT) como a los ensayos de conformidad de la producción (COP) con respecto a los equipos de construcción.

Cuadro 49: Normas de emisión para equipos de construcción Vehículos notificados por el Ministerio de Relaciones Exteriores

Bharat Etapa III	Aplicable a partir de	CO	HC + NOx	PM
Categoría		**gm/KW-hr**		
KW < 8	1-Abr-2011	8.00	7.50	0.80
8 ≤ KW < 19	1-Abr-2011	6.60	7.50	0.80
19 ≤ KW < 37	1-Abr-2011	5.50	7.50	0.60
37 ≤ KW < 75	1-Abr-2011	5.00	4.70	0.40
75 ≤ KW < 130	1-Abr-2011	5.00	4.00	0.30
130 ≤ KW ≤ 5600	1-Abr-2011	3.50	4.00	0.20

APPÉNDICE -III

CÓDIGOS DE IRC/BIS PARA EQUIPOS DE CONSTRUCCION DE CARRETERAS Y PUENTES

La mayoría de los equipos de construcción de carreteras y puentes se han incluido en este documento. Para obtener más información sobre dichos equipos, se pueden consultar los códigos relevantes de IRC/BIS. La **Tabla 50** proporciona una lista de dichos códigos para equipos clave de construcción de carreteras.

Tabla 50: Códigos IRC/BIS para la construcción de carreteras y puentes

Sl. No.	Equipo/Planta/Maquinaria	Código IRC / BIS relevante
1.	Bulldozer	IRC:125
2.	Excavadora hidráulica	IS/ISO:7135, IS:11399 (Part 1)
3.	Motoniveladora	IS/ISO:7134
4.	Raspador	IS/ISO:7133
5.	Cargador frontal	IS/ISO:7131, IS:13936
6.	Trituradora de mandíbula	IS:4254
7.	Trituradora de cono	IS:4255
8.	Carretilla de mano	IS:2431, IS:4184
9.	Planta de mezcla húmeda	IRC:126
10.	Plata de mezcla caliente	IRC:90
11.	Acabadora de pavimentos	IRC:SP:86
12.	Rodillo, compactadora de placas. Compactador de pisón	IRC:SP:97
13.	Planta de mezcla y dosificación de concreto, mezcladora de concreto	IRC:SP:96
14.	Mezcladora de tránsito	IS:5892
15.	Vibrador interno de concreto	IS:2505, IS:3558
16.	Vibrador externo de concreto	IS/ISO:18652
17.	Vibrador de regla para concreto	IS:2506, IS:11993
18.	Mesa vibradora	IS:2514

Sl. No.	Equipo/Planta/Maquinaria	Código IRC / BIS relevante
19.	Martillo neumático	IS:3559
20.	Equipo Móvil de Sellado con Lechada/Micro-Superficie	IRC:SP:81
21.	Planta Móvil de Mezcla Fría de Asfalto	IS:5435
22.	Bomba de Concreto	IS/ISO:21573 (Part 1)
23.	Martillo de Piloteo	IS:6426
24.	Equipo de Perforación de Pilotes (Taladro de Percusión con Cable sin el uso de bentonita para estabilización)	IS:14362
25.	Equipo de Pretensado	IS:1343
26.	Equipo de Inyección de Lechada	IS:1343, IS:6066, IS:5878 (Part 7)
27.	Equipo de Gunitado	IS:9012, IS:6433
28.	Perforadora de Núcleo con Diamante	IS:11710 (Part 1), IS:11710 (Part 2), IS:10208, IS:15481 (Part 1), IS:6926
29.	Grúa	IS/ISO:4301 (Part 2), IS/ISO:4306 (Part 2), IS:4573, IS:13558, IS:13834, IS:13870, IS:14469, IS/ISO:8686 (Part 5), IS/ISO:4306 (Part 3)
30.	Compresor de Aire Móvil	IS:6430
31.	Generador Eléctrico	IS/ISO:8528

APÉNDICE-IV

CALIBRACIÓN DE EQUIPOS

La mayoría de los equipos utilizados en la construcción, operación, mantenimiento o inspección/pruebas (control de calidad) de carreteras, puentes y túneles involucran el uso de dispositivos de medición (por ejemplo, celdas de carga, indicadores de temperatura/ presión, medidores de flujo, anillos de calibración, etc.) para monitorear varios parámetros de rendimiento. La precisión de estos dispositivos de medición es crucial para el éxito, la longevidad y la calidad del proyecto en cuestión. Por lo tanto, es imperativo que cada equipo equipado con dispositivos de medición sea calibrado.

La calibración es el proceso de ajustar las configuraciones para niveles conocidos de precisión. Cada vez que se realiza una medición, hay un resultado/valor real y un resultado/valor medido. Debido a la aleatoriedad y variabilidad con un patrón definido, el valor medido suele diferir del valor real. La calibración se realiza para identificar/corregir la variabilidad no aleatoria o tenerla en cuenta de tal manera que la diferencia entre el valor real y el valor medido sea insignificante y esté dentro de los límites aceptables. La calibración se realiza utilizando un instrumento de referencia o estándar, que se utiliza para determinar el resultado real contra el cual se compara el resultado medido por el dispositivo a calibrar.

La precisión de cualquier equipo degrada con el tiempo debido a diversos factores como el desgaste normal, golpes eléctricos o mecánicos, entornos de trabajo peligrosos, etc. La calibración restablece la precisión de dicho equipo para garantizar la confiabilidad en términos de calidad y/o cantidad.

Para garantizar resultados válidos, cada equipo debe calibrarse o verificarse antes de su uso y también a intervalos regulares, según lo especificado por el fabricante o el código relevante del IRC/BIS, lo que ocurra primero. La calibración siempre se debe realizar con estándares de medición rastreables a estándares nacionales o internacionales, y cuando dichos estándares no existan, la base para la calibración o verificación debe documentarse.

REFERENCIAS

1. IRC Publications, published by Indian Roads Congress, New Delhi
2. Indian Standards, published by Bureau of Indian Standards, New Delhi
3. CAMTECH/2015/C/HEAVY MACHINERY/1.0, “Use of Heavy Machinery in Construction of Metro Railways”, Ministry of Railways, Government of India, March 2015
4. Peurifoy/Schexnayder, “Construction Planning, Equipment and Methods”, published by TMH, New Delhi
5. S.C.Sharma, “Construction Equipment and its Management”, published by Khanna Publishers
6. Prithvi Singh Kandhal, “Bituminous Road Construction in India”, published by PHI Learning Private Limited
7. B. Maidl, L. Schmid, W. Ritz, M. Herrenknecht; “Hard Rock Tunnel Boring Machines”; published by Ernst and Sohn, Germany
8. Dr. V.K. Raina, “Raina’s Field Manual for Highway and Bridge Engineers”, published by Shroff Publishers and Distributors Pvt. Ltd.
9. “The Asphalt Handbook Manual Series No. 4”, Seventh Edition, published by Asphalt Institute, 2007
10. “Garden Reach Portable Steel Bridge”, published by Garden Reach Shipbuilders and Engineers Ltd.
11. “Foundation Manual”, Second Revision, published by California Department of Transportation, October 2015
12. Publication No. FHWA-HIF-15-005, “Tunnel Operations, Maintenance, Inspection, and Evaluation Manual”, FHWA, July 2015
13. Publication No. FHWA-NHI-10-034, “Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels – Civil Elements”, FHWA, December 2009
14. Publication No. ISSA A105, “Recommended Performance Guidelines for Emulsified Asphalt Slurry Seal”, ISSA, January 2001
15. Grote, Antonsson; “Springer Handbook of Mechanical Engineering”, published by Springer Science+Business Media, New York.

"ESTE DOCUMENTO ES UNA TRADUCCIÓN NO AUTORIZADA DE UN DOCUMENTO DE LIBRE ACCESO QUE SE DECIDIÓ TRADUCIR COMO INSUMO DE CONSULTA PARA LOS ESTUDIANTES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL"

ENCARGADOS DE EJECUTAR LA TRADUCCIÓN

Nombres	Apellidos	Paginas Asignadas	
Daniela Estefanía	Maza Vivanco	1	5
Mishell Jackeline	Celi Sarango	6	11
Andrea Paola	Torres Cárdenas	12	17
Alex Xavier	Aguinsaca Aguinsaca	18	23
Nathaly Michelle	Rivera Lalangui	24	29
Karen Yeleny	Lopez Garrido	30	32
Juan Fernando	Herrera Zarate	33	35
Danny Martín	Elizalde Yaguachi	36	41
Anthony Vladimir	Torres Pardo	42	47
César Augusto	Condor Medina	48	53
Luis Francisco	Gordillo Placencia	54	59
Elsa Karina	Torres Torres	60	65
Jhuleydi Dayanely	Paladines Robles	66	71
Fabian David	Quizhpe Abad	72	77
Diego Santiago	Galán Burneo	78	83
Bryan Steven	Apolo Camacho	84	89
Thomas Sebastián	Cabrera Bustamante	90	95
Brayan Mauricio	Rueda Tinitana	96	101
Edgar Fabricio	Vivanco Maurad	102	107
Pablo Alejandro	Figueroa Camacho	108	113
Alex Gonzalo	Armijos Cabrera	114	116
Luis Santiago	Camacho Manzanillas	117	119
John Fernando	Tinitana Soto	120	121
Jorge Luis	Soto Jumbo	122	125
Pablo Gabriel	Loaiza Jimenez	126	131
Yandry Ricardo	Alejo Torres	132	137
Lauro Daniel	Montalván Bravo	138	143
Mathías Santiago	Castro Cuenca	144	149
Xavier Alejandro	Macas Castillo	150	155
Samantha Mallerly	Villalta Poma	156	161
Carlos Eduardo	Díaz Robayo	162	167

Dalton Alessandro	Arteaga Guaman	168	173
Carlos Eduardo	Díaz Robayo	174	179
Jhobin Alexis	Cajamarca Bustamante	180	185
Tyrone Alexander	Guarderas Cabrera	186	191
Aileen Carolina	Tapia Martínez	192	197
Luis Fernando	Montaño Correa	198	203
Donie Lorraine	Samaniego Guaman	204	209
Maikoll Andrés	Carrion Ruiz	210	212
Carlos Francisco	Celi Fernández	213	215
Jim Alexander	Simancas Armijos	216	221
Paula Daniela	Carrión Salinas	222	227
Iván Andrés	Álvarez Muñoz	228	233
Jorge Andrés	González Godoy	234	239
kevin Alexander	Vivanco Gonzalez	240	245
Ximena Elizabeth	Guarderas Ludeña	246	251
Erwin Rodrigo	Lapo Ruilova	252	257
Hared Yassir	González Armijos	258	263
Andres David	Apolo Cabrera	264	269
Franklin David	Gonzalez Mora	270	275
Maikoll Andrés	Carrión Ruiz	276	281
Alex Alberto	Nagua Panamito	282	287
Jhonatan Alexander	Verdesoto Alba	288	293
Anthony German	Guerrero Paladines	294	298
Jorge Sebastián	Paredes Torres	299	303
Cristopher David	Meza Angamarca	304	308

ENCARGADOS DE ASIGNAR LAS SECCIONES CORRESPONDIENTES

Mishell Jackeline Celi Sarango
Samantha Mallerly Villalta Poma
Alex Alberto Nagua Panamito

ENCARGADOS DE REVISAR DE MANERA GENERAL LA TRADUCCIÓN

Xavier Alejandro Macas Castillo
Ronny Steed Giron Tacuri

(Las enmiendas oficiales a este documento serán publicadas por el IRC en su publicación periódica, "Indian Highways", que se considerará efectiva y formará parte del código/guías/manual, etc. a partir de la fecha especificada en ellas.)